

Transferts de quantité de mouvement et d'énergie dans le contexte des plasmas confinés (tokamaks).

Porteur : Xavier Escriva (MdC, UCBL), Mathieu Creyssels (Prof, ECL), Wouter Bos (DR, CNRS)

Partenaires : (si applicable)

Laboratoire : Laboratoire de Mécanique des Fluides et Acoustique (LMFA)

Composante : (si applicable)

Nature du financement demandé : Stage de M2

Période : mars/juillet 2025

Résumé : Dans un tokamak, les transferts de quantité de mouvement et d'énergie pilotent le confinement et la température du plasma. L'étude numérique proposée consiste à quantifier l'effet de la courbure du tore sur la dynamique et l'énergie du fluide dans son état plasma. Le plasma de fusion sera modélisé par un écoulement turbulent. Les simulations numériques directes seront réalisées à l'aide du code libre d'éléments spectraux Nek5000 et fourniront des réponses quantifiées sur les propriétés dynamiques, notamment turbulentes et les propriétés thermiques du fluide confiné dans un tore.

Sujet développé :

La fusion magnétiquement confinée est une alternative énergétique prometteuse aux combustibles fossiles. Les obstacles en matière d'ingénierie sont toutefois nombreux. L'objectif est de permettre une réaction de fusion en confinant à l'aide d'un champ magnétique un plasma à une température de plusieurs centaines de millions de degrés. En raison des très forts gradients de température, de densité et de champ magnétique, une multitude d'instabilités se développent.

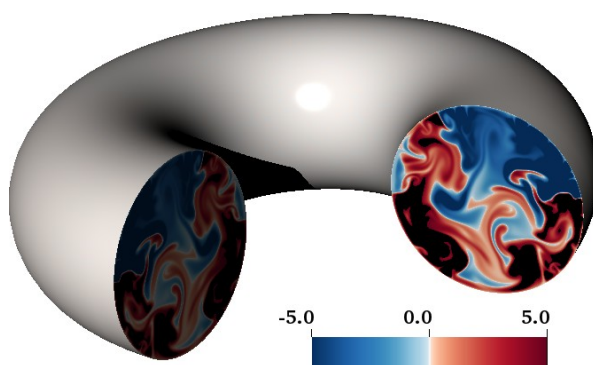


Figure 1 : Visualisation des simulations numériques d'une description fluide de la dynamique axisymétrique d'un tokamak [1]. Le champ en couleur indique la vorticité (toroïdale) associée au champ de vitesse poloïdal.

D'un point de vue numérique, les approches fluides restent la principale description pour étudier la stabilité et les propriétés turbulentes des plasmas de fusion. Dans une étude récente [1], nous avons étudié la transition entre différents états turbulents d'un fluide possédant certaines caractéristiques clés de la dynamique de ces plasmas. Nous avons démontré que cette description permet de

reproduire un comportement majeur de la dynamique des tokamaks : la transition vers un état de confinement amélioré.

L'équipe d'accueil a également étudié l'effet de la courbure sur le transfert thermique dans les tubes courbés dans le contexte des écoulements laminaires [2]. Plus récemment, cette étude a été étendue au domaine toroidal afin d'étudier l'analogie entre le transfert de chaleur et de quantité de mouvement du fluide confiné dans un tore et uniformément chauffé.

Ce projet consiste à adopter la description du plasma de fusion proposé par [1] et à quantifier l'effet de la courbure du tore sur la dynamique et l'énergie du fluide plasma. L'idée est de fournir une base de données pertinente sur la dynamique et le transfert thermique dans un fluide décrivant un plasma en fonction de l'intensité de la turbulence et de la courbure du tore.

Le futur stagiaire poursuivra le développement des simulations numériques directes initiées dans le cadre de la thèse de W. Agoua et effectuées avec le code libre d'éléments spectraux Nek5000 [3]. Les résultats attendus permettront de quantifier la capacité du fluide représentant le plasma à rester turbulent, à diminuer la longueur caractéristique de mélange et à transférer l'énergie.

References

- [1] W. Agoua, B. Favier, J. Morales & W. J. T. Bos. A critical transition of two-dimensional flow in toroidal geometry. *J. Fluid Mech.*, 988:A33, 2024.
- [2] M. Creyssels, S. Prigent, Y. Zhou, X. Jianjin, C. Nicot & P. Carrière. Laminar heat transfer in the MLLM static mixer. *Int. J. Heat Mass Transf.* 81, 774–783, 2015.
- [3] <https://nek5000.mcs.anl.gov/>