

**Titre du sujet de la thèse en français :** Développement d'un modèle réduit de transport turbulent pour la simulation d'une décharge complète dans ITER.

**Titre du sujet de la thèse en anglais :** Development of a reduced turbulent transport model for the simulation of a full discharge in ITER.

**Nom du directeur de thèse :** Eric Serre (directeur) / Hugo Bufferand (co-directeur)

E-Mail : [eric.serre@univ-amu.fr](mailto:eric.serre@univ-amu.fr); [hugo.bufferand@cea.fr](mailto:hugo.bufferand@cea.fr)

**Laboratoire :** M2P2

**Financement :** demande de contrat doctoral

**Résumé en français :** La fusion par confinement magnétique vise à produire de l'énergie en utilisant l'énergie libérée par la fusion de noyaux de deutérium et de tritium à des températures extrêmement élevées ( $10^7$ - $10^8$ K), au sein d'un plasma confiné par des champs magnétiques dans des machines de forme toroïdale appelées tokamaks. ITER (<https://www.iter.org/>), qui a été conçu comme une étape expérimentale clé entre les machines de recherche d'aujourd'hui et les centrales de fusion de demain, est certainement parmi les défis technologiques et scientifiques les plus ambitieux que l'humanité s'est lancée ces dernières années. Le succès d'ITER nécessitera des simulations numériques fiables et performantes basées sur des modèles basse fidélité pour permettre un fonctionnement dans des conditions optimales.

Ce projet de thèse porte sur l'amélioration de la modélisation de la turbulence liée au transport de chaleur et de particules dans la direction perpendiculaire aux surfaces de flux magnétique, et qui est basée dans les codes de transport actuels sur des flux turbulents transversaux régis par la loi de Fick avec un coefficient de diffusion constant. Nous travaillerons sur le développement et l'implémentation d'un nouveau modèle en ligne avec les travaux récents de l'équipe (Baschetti et al. NF 2021) inspiré du RANS en CFD, et basé sur l'énergie cinétique turbulente du plasma et de son taux de dissipation, respectivement. La suite de code SOLEDGE3X-HDG, développée au sein de l'équipe (Scotto et al. NF 2022), nous servira à analyser l'impact d'une telle modélisation sur les propriétés de transport dans les conditions pertinentes pour ITER. Nous analyserons en particulier sa capacité à traiter les régimes transitoires, le transport balistique et le comportement non local du transport comme attendu par les mesures expérimentales. En outre, des techniques d'assimilation des données et/ou d'intelligence artificielle seront étudiées afin de réduire les incertitudes sur les paramètres libres du modèle.

Le M2P2 associe des compétences en mécanique des fluides numérique, mathématiques appliquées et en physique des plasmas, et héberge la dernière génération de codes de bord français en collaboration avec l'IRFM-CEA. Ce partenaire exploite le tokamak WEST en soutien aux futures expériences ITER situé à 80km du laboratoire.

**Résumé en anglais :** Fusion based on magnetic confinement aims at producing power by using the energy liberated by fusing deuterium and tritium nuclei at extremely high temperatures ( $10^7$ - $10^8$ K), within a plasma confined by magnetic fields in machines of toroidal shape known as tokamaks. ITER (<https://www.iter.org/>), which was designed as the key experimental step between today's research machines and tomorrow's fusion power plants, is certainly among the most ambitious technological and scientific challenges that humanity has set itself in recent years. The success of ITER will require reliable and efficient numerical tools based on low-fidelity models to operate with optimal conditions.

This Phd project deals with the improvement of the turbulence modelling related to the transport of heat and particles in the perpendicular direction to magnetic flux surfaces and based in current state-of-the-art transport codes on the evolution of averaged quantities assuming transverse turbulent fluxes are governed by Fick's law with a constant diffusion coefficient. We will work on the development and implementation of

a new model online with the recent work of the team (Baschetti et al. NF 2021) inspired from RANS in CFD, and based on the estimation of the plasma turbulent kinetic energy and its dissipation rate, respectively. The suite of code SOLEDGE3X-HDG will be used to analyze the impact of such modelling on transport properties in ITER relevant conditions. We will in particular analyze its ability to deal with transient regime and nonlocal behavior in the transport through turbulence spreading as expected from experimental measurements in tokamak. In addition, data assimilation will be investigated to reduce uncertainties on the free parameters of the model.

M2P2 associates skills in computational fluid mechanics, applied mathematics and plasma physics, and hosts the last generation of french edge plasma codes in connexion with IRFM-CEA. This latter operates the tokamak WEST in support to future ITER experiments located 80km north from Marseille.

**Profil du candidat recherché :** The candidate will be sought with solid competences in numerical modelling and coding. A background in plasma physics and/or fluid turbulence will be welcome.

**Publications sur le sujet :**

- Auroux, *et al.* Asymptotic behaviour, non-local dynamics and data assimilation tailoring of the reduced  $\kappa - \epsilon$  model to address turbulent transport of fusion plasmas. *Physics of Plasma*, 2022
- Scotto, *et al.* Core-edge 2D fluid modeling of full tokamak discharge with varying magnetic equilibrium: from WEST start-up to ramp-down. *Nucl. Fus.*, 2022
- Baschetti, et al. Self-consistent cross-field transport model for core and edge plasma transport. *Nucl. Fus.* 2021.

**Insertion professionnelle après thèse :** academic research and industry