

Proposition de sujet de thèse – sept. 2014

Directeurs de thèse :

Noms:	Prénom :	Affiliation
Prof. MINEA	Tiberiu	LPGP, CNRS-U Paris-Sud, Orsay
Tél. / Fax:	01 69 15 66 54 / 01 69 15 78 44	
e-mail:	tiberiu.minea@u-psud.fr	

Noms:	Prénom :	Affiliation
Dr. SIMONIN	Alain	CEA/IRFM, Cadarache
Tél. / Fax:	04 42 25 47 41	
e-mail:	alain.simonin@cea.fr	

Laboratoire : Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas - LPGP

Identification (UMR,UPR,...) :	UMR 8578	Directeur : Gilles MAYNARD
Site Internet :	www.lpgp.u-psud.fr	
Adresse :	Université Paris-Sud – Bat 210 – 91405 ORSAY cedex	
Lieu de la these :	LPGP, Orsay	

Laboratoire : Institut de Recherche sur la Fusion Magnétique – IRFM, CEA Cadarache

Identification :	CEA	Directeur : Alain BECOULET
Site Internet:	www-cadarache.cea.fr/	
Adresse:	F-13108 Saint-Paul-lez-Durance, France	
Lieu de la these :	<i>Idem</i>	

TITRE de le thèse :

Modélisation 3D d'un neutraliseur à plasma magnétisé pour les systèmes d'injection de neutres (IDN) des futurs réacteurs de Fusion (DEMO).

Résumé

Le système IDN est le chauffage principal du plasma des futurs réacteurs de fusion (DEMO), sa mission sera d'amorcer et d'entretenir les réactions de Fusion sur des temps longs au cœur du réacteur (plasma) via l'injection de faisceaux d'atomes d'hydrogène, dits neutres, de très haute puissance (de 70 à 150MW) et haute énergie (1-2MeV).

De tels systèmes dépassent largement les frontières technologiques actuelles d'ITER ; ils font appel à de nouveaux concepts conciliant la réalisation de faisceaux extrêmement intenses avec de hauts rendements de puissance. En effet, la production d'électricité (couplée au réseau) d'un futur réacteur de Fusion dépend très étroitement de la puissance re-circulante au sein du réacteur pour l'alimentation de ses sous-systèmes; le rendement des systèmes de chauffage du plasma devient par conséquent une contrainte majeure, notamment pour de futurs systèmes comme DEMO.

Un système IDN de nouvelle génération à très haut rendement est en cours d'études au CEA Cadarache en collaboration avec les laboratoires universitaires en France sous financement par l'ANR. Il se traduit par la réalisation de nouveaux modèles numériques et de prototypes visant à lever les principaux verrous scientifiques et technologiques.

Le LPGP s'inscrit dans cette dynamique sur la base des différents modèles numériques réalisés pour l'IDN d'ITER, comme par exemple, l'extraction des ions négatifs (D^-) du plasma de la source d'ions (code ONIX-3), l'accélération jusqu'à 1 MeV (code ONAC-3) ou leur neutralisation sur une cible gazeuse (code OBI-3). Tous ces codes « plasma 3D » sont basés sur l'approche Particle-in-Cell (PIC) dont les interactions entre les différentes espèces sont traitées par méthodes Monte Carlo.

L'interaction d'un faisceau d'ions avec un gaz (principe de neutralisation sur ITER) génère un plasma secondaire faiblement ionisé autour du faisceau, la densité ionique de ce plasma secondaire ne contribuant que très partiellement au taux de neutralisation global du faisceau (taux de neutralisation inférieur à 55% sur ITER).

En revanche, le système IDN de nouvelle génération proposé pour DEMO est basé sur un faisceau en nappe (laminaire) très intense ouvrant la voie à d'autres concepts de neutralisation potentiellement plus avantageux comme,

1) la photoneutralisation résultant de l'interaction d'un faisceau lumineux multi-mégawatt ($\sim 2\text{MW}/\text{cm}^2$ de flux de photons) produit au sein d'une cavité Fabry-Pérot de haute finesse, avec le faisceau d'ions négatifs D^-

(projet ANR SIPHORE) ;

2) la neutralisation par plasma magnétisé de haute densité offrant potentiellement un fort taux de neutralisation des ions négatifs (et un haut rendement global de l'injecteur)

3) la combinaison entre les deux processus via des résonances du processus de photodétachement ; ce sont des états quantiques excités sous l'effet d'un champ magnétique intense (états de Landau).

Le projet de recherche proposé dans le cadre de cette thèse concerne le développement d'un modèle numérique visant à simuler de manière auto-cohérente le transport **et neutralisation** et du faisceau d'ions négatifs suivant ces trois processus.

-) Dans un premier temps, il s'agit d'étudier le cas simple du photo-neutraliseur (neutralisateur **sans** gaz), dont les photons seuls (laser) permettent de détacher l'électron additionnel attaché aux ions négatifs (photo-détachement). On vise la connaissance du rendement de conversion en neutres rapides, la formation du plasma secondaire de basse densité par la libération de charges, les caractéristiques du faisceau de neutres et la récupération d'énergie des ions négatifs résiduels.

-) Dans un deuxième temps, il s'agit de développer, à partir du code existant OBI-3 (code de neutralisation par cible gazeuse sans champ magnétique développé pour ITER), un nouveau modèle physique pour le neutraliseur à plasma magnétisé permettant une caractérisation complète de l'ensemble « plasma, faisceau d'ions, neutres »

-) Enfin, la possibilité de combiner les deux approches sera étudiée en fin de thèse avec l'objectif principal d'optimiser et orienter les développements technologiques présents et futurs.

Des informations sur les modèles en cours sont disponibles dans la **REFs 1-4**.

Ce travail sera réalisé dans l'équipe 'Théorie et Modélisation des Plasmas. Décharges & Surfaces' du LPGP en coopération avec IRFM/CEA Cadarache.

REFERENCES

1. S. Mochalsky, A. F. Lifschitz, T. Minea
3D modeling of negative ion extraction from a negative ion source
Nucl. Fusion, 50 (2010) 105011
2. S. Mochalsky, A. F. Lifschitz, T. Minea
Extracted Current Saturation in Negative Ion Sources
J. Appl. Physics, 111(11) (2012) 113303
3. A. Revel, S. Mochalsky, L. Caillault, A. F. Lifschitz, T. Minea
Comparison between realistic and ideal negative ion beamlets in the ITER-like accelerator of NBI
Nucl. Fusion, 53 (2013) 073027
4. T. Minea, A. Lifschitz, G. Maynard, K. Katsonis, J. Bretagne, A. Simonin
Simulation code for the D- beam transport through the ITER neutralizer
Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 10(8) (2008) 1899-1903

Mots clés :

simulations numériques 3D, Particle-In-Cell Monte Carlo, faisceaux d'ions négatifs, plasma hors-équilibre, plasmas magnétisés

Co-financement : CNRS (50 %)