

## PhD proposal

### Title:

Characterization of hydrogen pellet ablation in the perspective of ITER and DEMO  
Caractérisation de l'ablation des glaçons d'hydrogène dans la perspective d'ITER et de DEMO

### Supervision :

B. Pégourié [bernard.pegourie@cea.fr](mailto:bernard.pegourie@cea.fr)

Doctorat d'Etat, 7 PhDs supervised (1 nominated for the Plasma Price of the SFP)

239 publications (including TS team), h = 29.

HPI2 is presently the reference code for pellet fueling.

R. Sakamoto [sakamoto@nifs.ac.jp](mailto:sakamoto@nifs.ac.jp)

Professor, 2 PhDs supervised

191 publications, h = 30.

### Universities:

Université d'Aix-Marseille (B. Pégourié)

Sokendai (Graduate University for Advanced Studies) (R. Sakamoto)

Recently, Sokendai encouraged double supervision for PhDs with possibility of double-degree and contribution in the funding for stay in Japan. To be confirmed and quantified by R. Sakamoto.

### Time schedule:

6 months IRFM: introduction of ablation asymmetries in HPI2 / introduction to arbitrary 3D distributions in the cloud radiative transfer code.

12 months NIFS: diagnostic development, participation to LHD experimental campaign (Oct-Dec 2018), data analysis and comparison with HPI2 predictions.

12 months IRFM: diagnostic installed on WEST and/or on ASDEX-Upgrade (depending on machine availability - collaboration P. Lang / G. Koks under discussion), measurements, analysis and interpretation of data, comparison with HPI2 predictions. (no participation to WEST experimental campaigns is expected at this stage, because – following this time schedule – it should be in 2019).

6 months IRFM: modification of HPI2 if necessary, redaction of report.

### Available tools:

Diagnostic development: funding available in 2017 at NIFS, material will be available when student will arrive.

Back up data: in case of experimental difficulties, an important data base of LHD cloud images is already available (but of medium quality....)

Codes: HPI2 is well validated; a first code of cloud emission exists already.

### Type of work:

Code development.

Development and installation of the diagnostic in LHD / WEST and/or ASDEX-Upgrade.

Participation to experimental campaigns (LHD / WEST and/or ASDEX-Upgrade).

Data analysis and exploitation.

### Funding:

Difficult to specify as long as we don't know what can be offered by the Japanese University.

### Introduction:

Pellet injection is mandatory for the fueling of next generation devices (ITER, DEMO...). Nevertheless, the experimental reproduction of the conditions expected in these devices (shallow penetration – up to the top of the pedestal at best, probably less – the essential part of matter penetration being due to the  $\nabla B$ -induced drift) is not possible in present day tokamaks. Predictions are thus exclusively based on modelling, a consequence of which is that it is mandatory to validate the available ablation/deposition codes as thoroughly as possible. It is only at this price that it will be possible to extrapolate their predictions to reactor-like devices with a high enough degree of confidence.

The physics of particle fueling by pellet injection is composed of two phases: the pellet ablation and the drift of the deposited material down the magnetic field gradient. Phase 2 is relatively well validated from studies performed in different devices (tokamaks and stellarators [1-3], see also corresponding references in [4]). The magnitude of the drift depends on the cloudlet mass and dimensions, which are directly correlated to the ablation rate. Conversely, the ablation (Phase 1) is by far less accurately diagnosed, the simple comparison between the calculated and measured pellet penetrations (which only depends on the integral of the ablation over plasma profiles of roughly similar shapes) being generally used as a criterion. Particularly, the density, temperature and ionization dynamics in the cloudlets – which are the initial parameters of the drift phase – were only rarely determined, and always with significant approximations in the cloud shape and dimensions (see references in [4], [5]).

The aim of this project is to fill up this void, using experiments performed on stellarator (LHD) and tokamak (WEST and/or ASDEX-Upgrade). It comprises (1) the participation to the building of the diagnostic (fast camera using different exposure times and filters of several widths around a number of selected wavelengths, with the spectrum in the wavelength domain  $\lambda = 300-700$  nm measured with the same time resolution), (2) the participation to experimental campaigns on LHD, WEST and/or ASDEX-Upgrade, (3) the determination of cloudlet physical parameters (dimensions, density and temperature distributions – distribution of the different atomic excited states) through a 3-D radiative transfer calculation in the cloudlet. Special attention will be paid to the modeling of the external part of the cloud where the conditions of Local Thermodynamic Equilibrium are not fulfilled. The method was already demonstrated on a few data from LHD [6], but it is mandatory to improve the diagnostic, extend the database of analyzed pellets (other plasma profiles and additional heating methods...). Result will be the quantitative link between ablation rate, line emission ( $H\alpha$  or other) and cloud dimensions and physical characteristics, as a function of the local plasma and pellet parameters, i.e. the required input for the drift calculation. Moreover, the knowledge of these parameters allows an accurate characterization of the pressure perturbation associated with a pellet injection, which is often associated to the triggering of a magneto-hydrodynamic instability at the plasma edge.

Results of the analysis will be systematically compared with predictions of ablation codes (e.g. [7]) and – if necessary - the physical model used in these codes improved for a closer description of ablation physics. The last step will be the application to ITER and DEMO fueling scenarios, in link with the European Work Program Tritium-Fueling&Vacuum.

### **References:**

- [1] N. Commaux et al., Nucl. Fusion **50** (2010) 025011
- [2] A. Matsuyama et al., Nucl. Fusion **52** (2012) 123017
- [3] R. Sakamoto et al., Nucl. Fusion **53** (2013) 063007
- [4] B. Pégourié, Plasma Phys. Control. Fusion **49** (2007) R87
- [5] M. Goto et al., Nucl. Fusion **49** (2007) 1163
- [6] B. Pégourié et al., 43<sup>rd</sup> EPS Conf. on Plasma Physics, Leuven, P5.002
- [7] B. Pégourié et al., Plasma Phys. Control. Fusion **47** (2005) 17

## Introduction:

L'alimentation en combustible des machines de prochaine génération (ITER, DEMO...) sera nécessairement faite par injection de glaçons. Cependant, reproduire les conditions régissant la physique de l'alimentation dans ces machines (faible pénétration – au mieux jusqu'au sommet du piédestal, probablement moins – l'essentiel de la pénétration étant liée à la dérive associée au gradient de champ) est impossible dans les tokamaks actuels. Les prédictions sont donc essentiellement basées sur des simulations. Il est donc nécessaire de valider les codes d'ablation/déposition aussi soigneusement que possible, car c'est seulement à ce prix qu'il sera possible d'accorder à leurs prédictions aux réacteurs un degré de confiance suffisant.

La physique de l'alimentation par injection de glaçons se compose de deux phases : l'ablation du glaçon et la dérive du nuage de matière ablatée le long du gradient de champ magnétique. La Phase 2 (dérive) est relativement bien validée par plusieurs études menées sur différentes machines (tokamaks et stellarators [1-3], voir aussi les références sur ce sujet dans [4]). L'importance de cette dérive dépend de la masse et des dimensions du nuage, lesquelles sont directement corrélées au taux d'ablation. A l'opposé, l'ablation (Phase 1) est beaucoup moins bien diagnostiquée, la simple comparaison entre les pénétrations calculée et mesurée (qui résultent d'une intégrale de l'ablation sur des profils plasma tous de formes plus ou moins similaires) étant généralement utilisée comme critère. En particulier, la densité, la température et la dynamique de l'ionisation dans les nuages – qui sont la condition initiale de la phase de dérive – ont seulement été rarement déterminées, et toujours avec des approximations significatives pour ce qui concerne la forme et les dimensions des nuages (références dans [4], [5]).

Le propos de ce projet est de combler ce vide à partir d'expériences menées sur des machines de différents types : stellarator (LHD) et tokamak (WEST et/ou ASDEX-Upgrade). Il comprend (1) la participation à la construction d'un diagnostic (caméra rapide utilisant plusieurs temps d'exposition et munie de filtres de différentes largeurs autour de longueurs d'ondes spécifiques, plus le spectre dans la zone  $\lambda = 300-700$  nm mesuré avec la même résolution temporelle), (2) la participation aux campagnes expérimentales de LHD, WEST et/ou ASDEX-Upgrade, (3) la détermination des paramètres physiques du nuage (dimensions, distributions de densité et température – distribution des différents états d'excitation des atomes) au moyen d'un calcul de transfert radiatif 3-D dans le nuage. Une attention particulière sera apportée à la partie externe du nuage où les conditions de l'Équilibre Thermodynamique Local ne sont pas remplies. La méthode a déjà été démontrée sur quelques données de LHD [6], mais il est impératif d'améliorer le diagnostic, d'étendre la base de données (sur d'autres profils de plasma et d'autres méthodes de chauffage...). Le résultat de l'analyse est le lien quantitatif entre le taux d'ablation, l'émission des raies ( $H\alpha$  ou autre) et les dimensions et caractéristiques physiques du nuage, en fonction des paramètres locaux du plasma et du glaçon, c'est-à-dire toutes les quantités nécessaires au calcul de la dérive. De plus, la connaissance de ces paramètres permet de caractériser précisément la perturbation de pression associée à l'injection du glaçon, souvent associée au déclenchement d'une instabilité magnétohydrodynamique au bord du plasma.

Les résultats de cette analyse seront systématiquement comparés aux prédictions de codes d'ablation (e.g. [7]) et – si nécessaire – le modèle physique utilisé dans ces codes sera amélioré pour une meilleure description de la physique de l'ablation.

La dernière étape sera de tirer les conséquences de ces résultats pour les scénarios d'alimentation d'ITER et de DEMO, en lien avec le Work Program européen Tritium-Fueling&Vacuum.

## **Références:**

- [1] N. Commaux et al., Nucl. Fusion **50** (2010) 025011
- [2] A. Matsuyama et al., Nucl. Fusion **52** (2012) 123017
- [3] R. Sakamoto et al., Nucl. Fusion **53** (2013) 063007
- [4] B. Pégourié, Plasma Phys. Control. Fusion **49** (2007) R87
- [5] M. Goto et al., Nucl. Fusion **49** (2007) 1163
- [6] B. Pégourié et al., 43<sup>rd</sup> EPS Conf. on Plasma Physics, Leuven, P5.002
- [7] B. Pégourié et al., Plasma Phys. Control. Fusion **47** (2005) 17