

Traitement des données de réflectométrie pour la mise en évidence de phénomènes turbulents

Reflectometry data processing for the analysis of turbulences

B. Ricaud *, F. Briolle *, F. Clairet **, C. Chandre *

* Centre de Physique Théorique, Marseille, {ricaud,briolle,chandre}@cpt.univ-mrs.fr

** Institut pour la Recherche sur la Fusion Magnétique, CEA Cadarache, frederic.clairet@cea.fr

Mots clefs: traitement du signal, réflectométrie, turbulences, tomogrammes.
signal processing, reflectometry, turbulences, tomograms.

Résumés

Le diagnostic de réflectométrie permet de mesurer le profil de densité du plasma. Néanmoins, les turbulences présentes au bord du plasma entraînent des échos multiples, rendant la reconstruction du profil de densité difficile. Une nouvelle méthode de traitement du signal permet d'isoler les multi-réflexions et améliore la précision de la reconstruction. Cette méthode consiste à projeter le signal sur une base de chirps linéaires.

Reflectometry allows one to measure the plasma density profile. However, plasma edge turbulence drives multiple echoes which lead to a difficult density profile reconstruction. A new signal processing technique allows us to isolate multi-reflections and improves the signal reconstruction. This method consists in projecting the signal onto a basis of linear chirps.

Introduction

La réflectométrie, basée sur le principe du radar, permet une mesure du profil de densité du plasma en un temps suffisamment court pour qu'il soit possible d'observer des fluctuations de densité d'origine turbulente [1]. Ce diagnostic testé sur Tore Supra, est prévu d'être utilisé sur ITER. Suivant sa densité et le champ magnétique local, le plasma peut être réfléchissant à une onde de fréquence donnée. Ainsi, le déphasage entre l'onde émise et l'onde réfléchie, proportionnel au temps de vol, donne la position de la couche de coupure et, connaissant le champ magnétique, la fréquence de l'onde détermine la densité du plasma en ce point. Pour sonder le plasma et obtenir un profil de densité, le dispositif mis en place pour Tore Supra émet à une fréquence qui varie linéairement pendant la mesure, de 50 à 110 GHz en 20 μ s [2].

Afin de reconstruire de façon précise le profil de densité, le défi majeur est de discriminer, séparer et interpréter les multi réflexions observées dans le signal issu du réflectomètre. Il y a d'une part des échos multiples dus aux réflexions contre les parois entourant le plasma et ceux causés par la turbulence. Nous présentons ici une nouvelle méthode d'analyse de signaux qui a fait l'objet de deux publications présentant les méthodes [3,4] et une publication sur l'application de ces méthodes au réflectomètre installé dans l'antenne de chauffage à la fréquence hybride basse (chauffage LH) de Tore Supra [5].

2. Extraction du signal plasma

Le premier objectif pour reconstruire un profil de densité est d'extraire, parmi les nombreuses réflexions parasites, la réflexion sur le plasma. Plusieurs techniques de traitement du signal ont été implémentées et comparées. La première consiste à utiliser une représentation temps-fréquence (Fourier Court Terme) pour déterminer les caractéristiques d'un filtre passe-bande. Pour certains types de signaux cette technique ne donne pas des résultats satisfaisants, en particulier lorsque la réflexion plasma occupe le même domaine fréquentiel que certaines réflexions indésirables. Une technique récemment développée, appelée tomogramme, consiste à projeter le signal sur une base orthonormale de chirps dépendants d'un paramètre. Elle permet, pour une valeur choisie du paramètre, une meilleure séparation des réflexions et leur reconstitution temporelle. Nous avons pu ainsi isoler la réflexion sur le plasma des échos parasites.

3. Multi réflexions et turbulence

Une nouvelle étape vers une meilleure mesure des turbulences de bord a été franchie récemment. L'utilisation

d'un algorithme d'extraction de crêtes [6] dans le plan temps-fréquence et temps-échelle a permis de visualiser les multi réflexions sur le plasma causées par des sauts de densité. Le tomogramme se révèle complémentaire de ces analyses. A l'aide des indications fréquentielles données par l'extraction de crête, nous pouvons isoler chaque réflexion et les reconstituer dans le domaine temporel. Ceci ouvre la voie à une reconstruction du profil de densité beaucoup plus précise et une meilleure compréhension du transport turbulent.

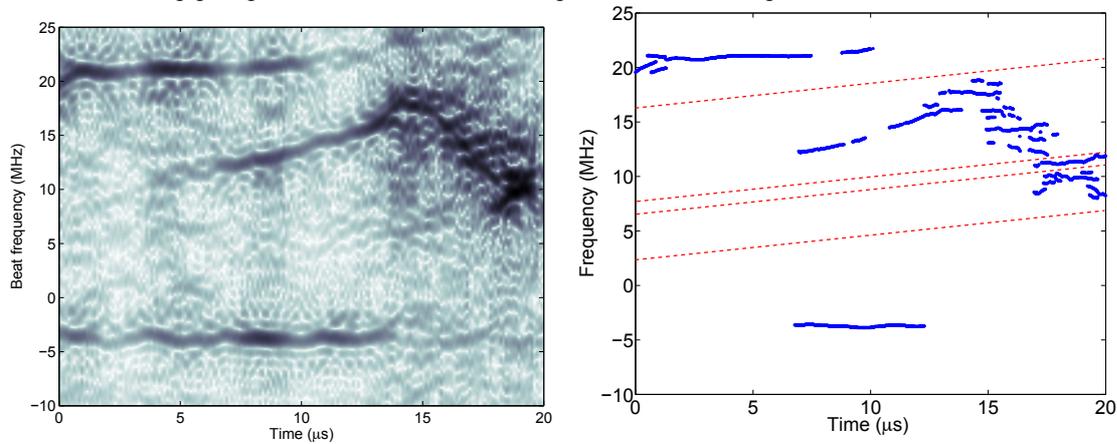


Figure 1 : Spectrogramme d'un signal issu du réflectomètre à gauche et son extraction de crêtes à droite. En rouge, le découpage du plan temps-fréquence permise par l'analyse tomographique.

4. Perspectives

L'application du tomogramme sur des signaux issus de simulations de réflexions sur des modèles de plasma turbulents devrait permettre de mieux cerner l'origine des multi réflexions. D'autre part, l'algorithme de reconstruction du profil de densité doit être amélioré, en s'appuyant sur la séparation des multi réflexions obtenues par tomogramme. Ceci devrait améliorer notre compréhension des phénomènes de turbulence.

Références bibliographiques

- [1] L. Vermare, S. Heurax, F. Clairet, G. Leclert and F. da Silva ; Density fluctuations measurements using X-mode fast sweep reflectometry on Tore Supra ; Nucl. Fusion, 46 (2006) S743-S749.
- [2] F. Clairet, C. Bottereau, J. M. Chareau, and R. Sabot, Rev. Sci. Instrum. 74, 1481 (2003).
- [3] F. Briolle, R. Lima, V. I. Man'ko, R. Vilela Mendes ; A tomographic analysis of reflectometry data I: Component factorization ; Meas. Sci. Technol. 20, 105501 (2009).
- [4] , F. Briolle, R. Lima, R. Vilela Mendes ; A tomographic analysis of reflectometry data II: the phase derivative ; Meas. Sci. Technol. 20, 105502 (2009).
- [5] B. Ricaud et al., Tomographic analysis of the Tore Supra reflectometry data, en préparation.
- [6] C. Chandre, S. Wiggins, T. Uzer ; Time-frequency analysis of chaotic systems ; Physica D 181, 171-196 (2003).