

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

B. Ricaud
en collaboration avec F. Clairet, F. Briolle

Institut de Recherche sur la Fusion Magnétique, CEA Cadarache
Centre de Physique Théorique, Marseille

URSI, 17 mars 2010

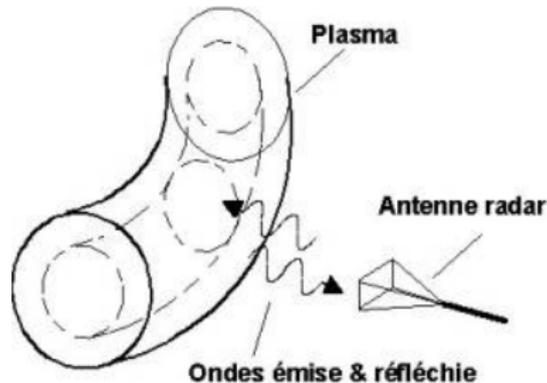
Tokamak Tore Supra, CEA Cadarache

Physique

- plasma confiné magnétiquement
- profil de densité
- turbulence

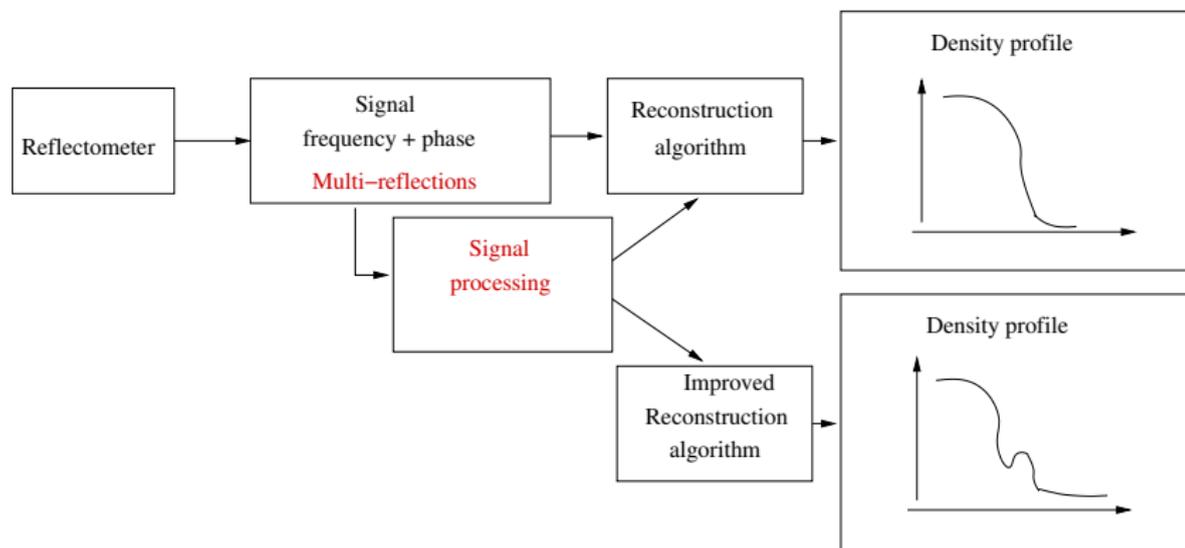
Réflectométrie

- chirp 50-75 GHz
- réflexion : fréquence \leftrightarrow densité
- hétérodynage : phase, temps de vol



- temps de vol : location couche de coupure

Introduction - reconstruction du profil



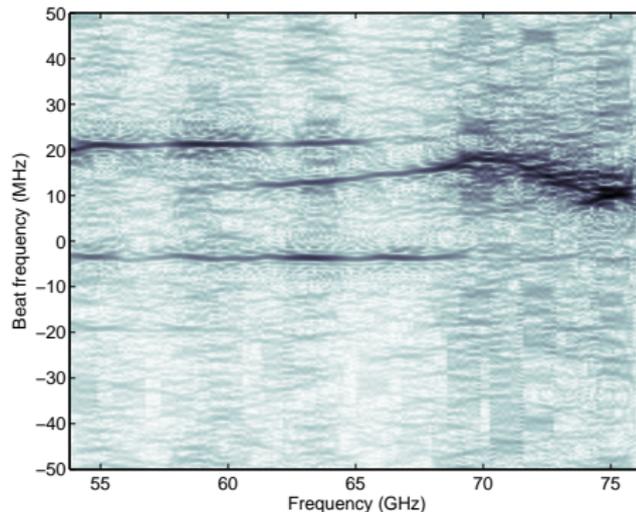
Données du réflectomètre standard

Temps-fréquence

- Spectrogramme
- Fréq. de battement prop. au tps de vol

Fréquence de battement

- Hublot
- Mur
- Plasma
- Turbulences



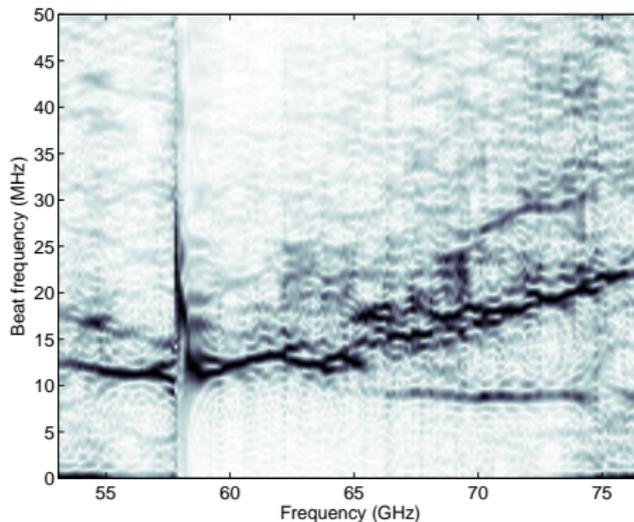
- Séparation des composantes ?

Données du réflectomètre dans l'antenne de chauffage



Fréquence de battement

- Couplage
- Multi réflexions plasma parois



- Séparation des composantes ?

Méthode de filtrage

- Transformation de f (projection sur une base)

$$C^\theta(x) = \int_0^T f(t) \overline{\psi_x^\theta(t)} dt, \quad (1)$$

$$\psi_x^\theta(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \exp \left(-i \left(\frac{1}{2 \tan \theta} t^2 - \frac{x}{\sin \theta} t \right) \right) \quad (2)$$

- Transformation inverse

$$f(t) = \sum_x C^\theta(x) \psi_x^\theta(t). \quad (3)$$

- Transformation en Tomogramme [Man'ko 99] [Man'ko 01]
- Transformation de Fourier fractionnaire

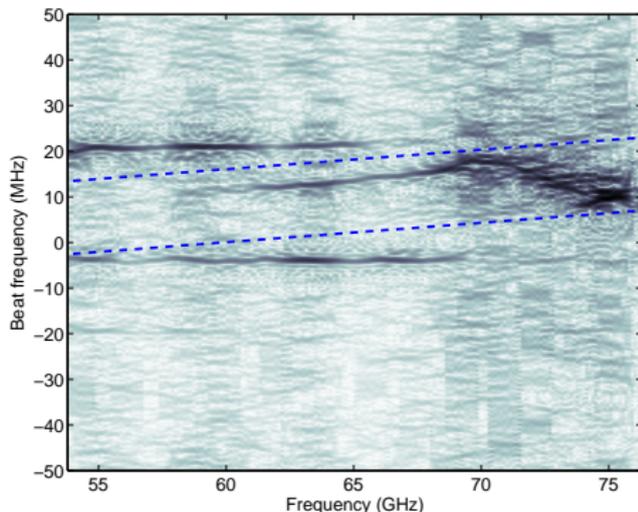
$$\psi_x^\theta(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \exp \left(-i \left(\frac{1}{2 \tan \theta} t^2 - \frac{x}{\sin \theta} t \right) \right)$$

Base de chirps

- Chirp linéaire avec dérivée de la phase :

$$\phi'(t) = -\frac{1}{\tan \theta} t + \frac{x}{\sin \theta}$$

- choix θ pente,
- choix $\omega_0 = \frac{x}{\sin \theta}$ fréq. initiale



- Séparation [Brionne 09]

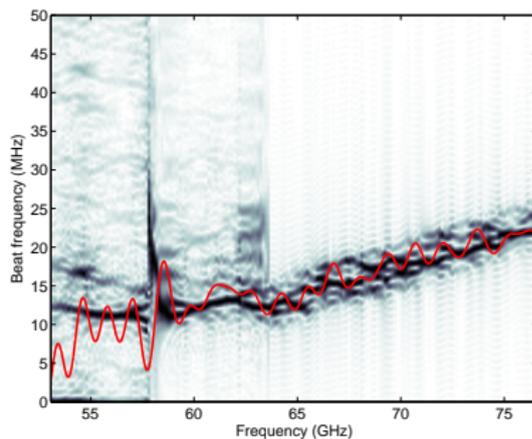
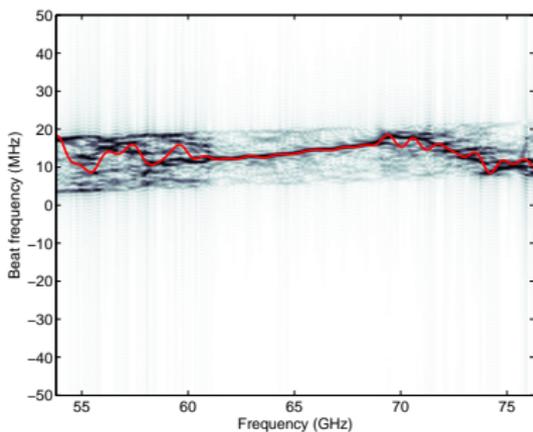
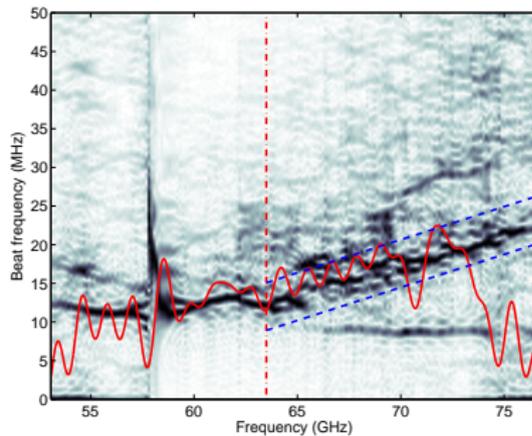
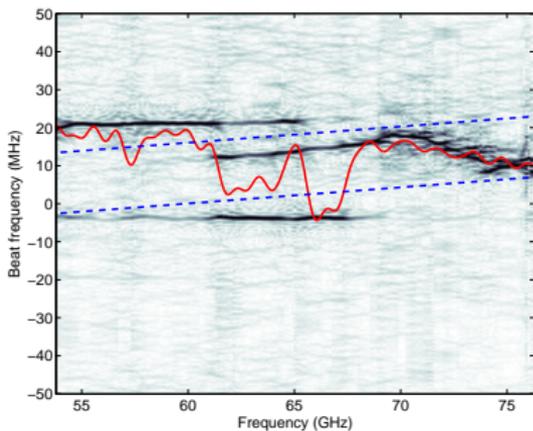
Algorithme

- Transformation de f :

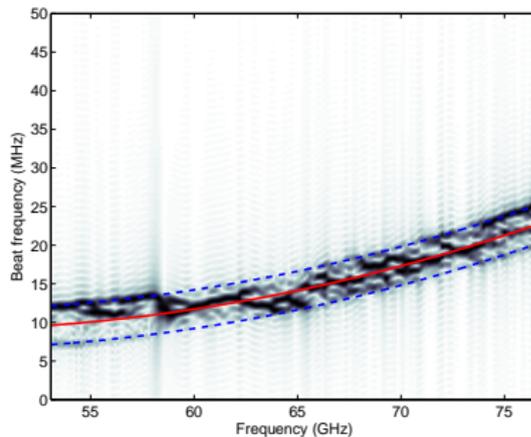
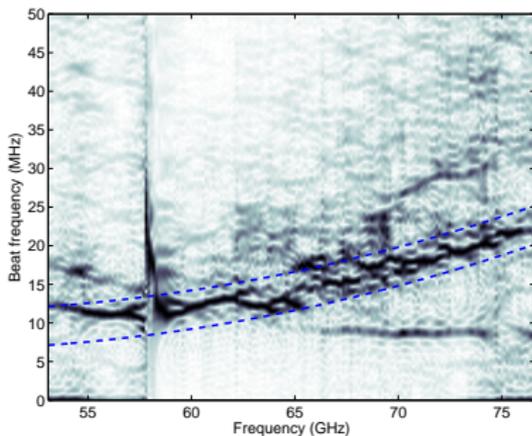
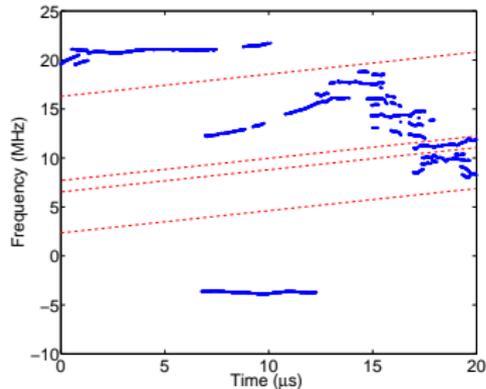
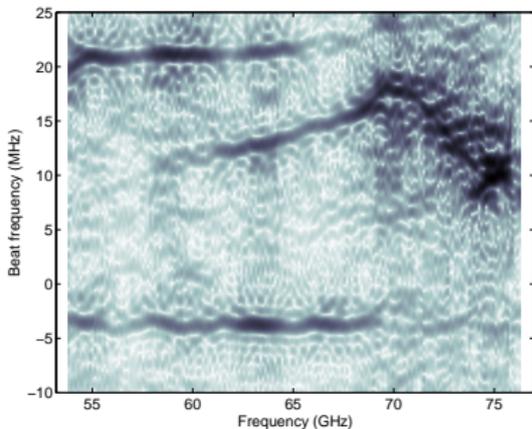
$$\begin{aligned} C^\theta(x) &= \int_0^T f(t) \frac{1}{\sqrt{T}} \exp\left(i \frac{1}{2 \tan \theta} t^2\right) \exp\left(-i \frac{x}{\sin \theta} t\right) dt \\ &= \sum_N g\left(\frac{N}{f_e}\right) \exp\left(-i \frac{x}{\sin \theta} \frac{N}{f_e}\right) \end{aligned}$$

- Calcul rapide avec FFT

Résultats



Perspectives sur les turbulences



- Automatiser le filtrage : choix du bon θ , détection des crêtes. $\theta = \pi/5$. Algorithmes de parcimonie ?
- Séparation des crêtes dues à la turbulence : meilleure interprétation de la turbulence. Nouvel algorithme de reconstruction.

Références

- Clairet F., Ricaud B., Briolle F., Heuraux S., New signal processing technique for density profile reflectometry on Tore Supra, soumis.
- Ricaud B., Briolle F., Analysis and separation of time-frequency components in signals with chaotic behavior, soumis, <http://fr.arxiv.org/abs/1003.0734>
- Briolle F., Lima R., Vilela Mendes R., A tomographic analysis of reflectometry data II : the phase derivative, Meas. Sci. Technol. 20, 105502 (9pp) (2009).