

# 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

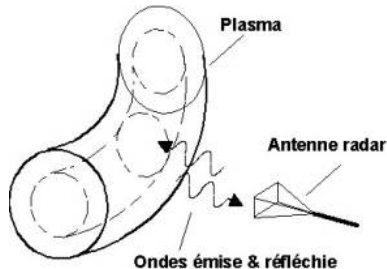
## Tokamak Tore Supra, CEA Cadarache

### Physique

- plasma confiné magnétiquement
- profil de densité
- turbulence

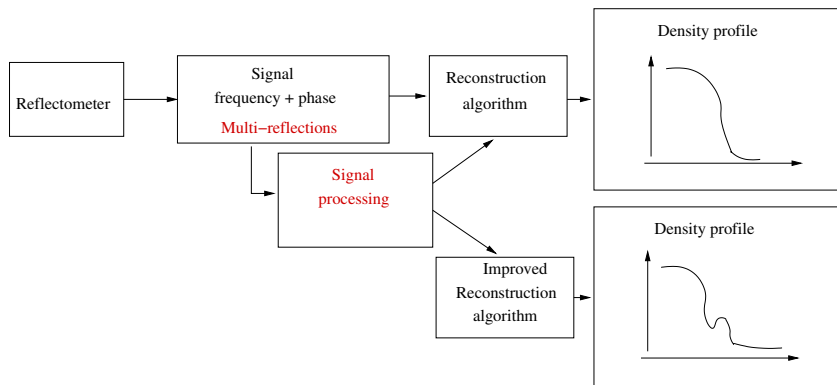
### Réflectométrie

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



- temps de vol : location couche de coupure

# Introduction - reconstruction du profil



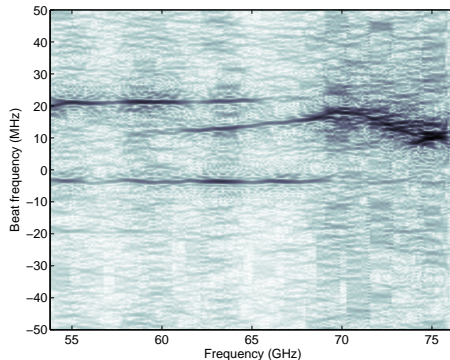
# Données du réflectomètre standard

## Temps-fréquence

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

## Fréquence de battement

- Hublot
- Mur
- Plasma
- Turbulences



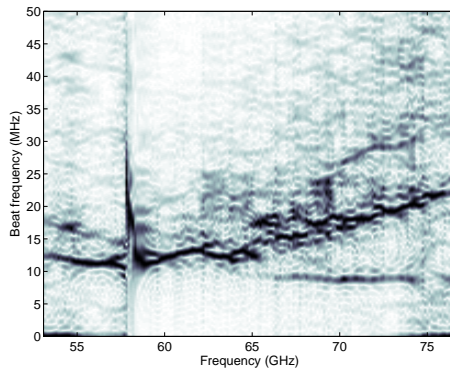
- Séparation des composantes ?

# 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

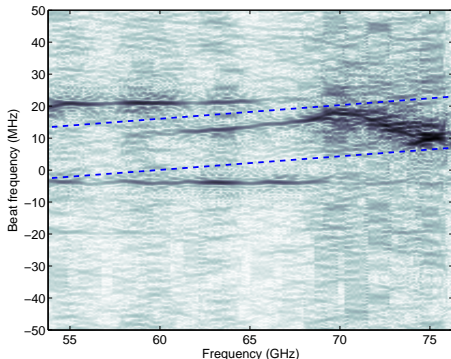
$$\psi_x^\theta(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \exp \left( -i \left( \frac{1}{2 \tan \theta} t^2 - \frac{x}{\sin \theta} t \right) \right)$$

## Base de chirps

- Chirp linéaire avec dérivée de la phase :

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

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



- Séparation [Brionne 09]

## Algorithme

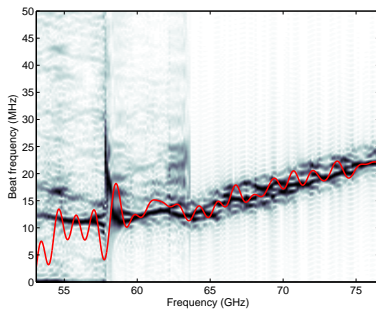
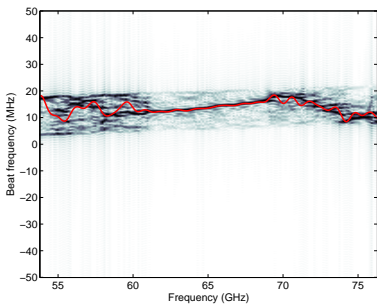
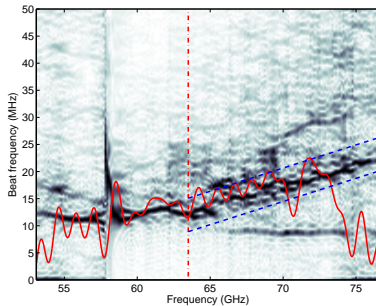
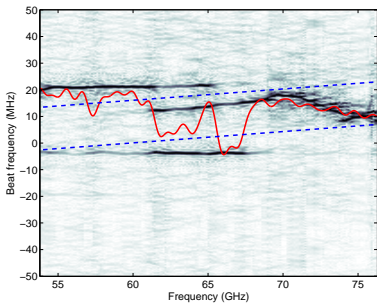
- Transformation de  $f$  :

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

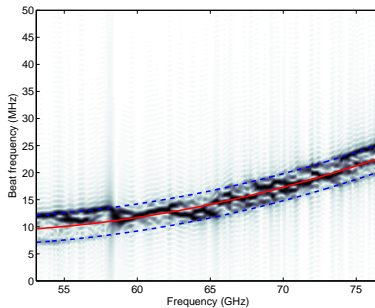
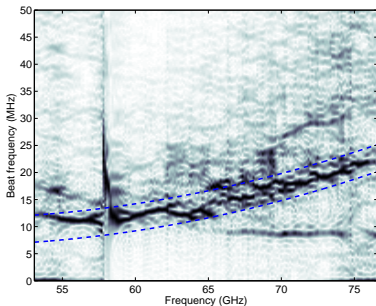
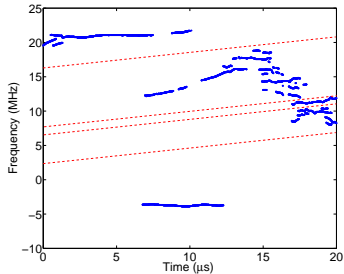
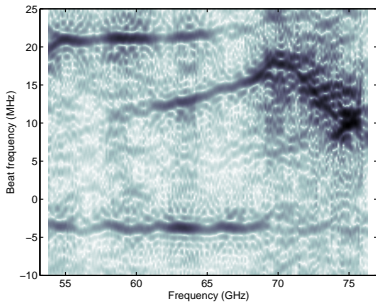
- Calcul rapide avec FFT



# Résultats



# Perspectives sur les turbulences



- Automatiser le filtrage : choix du bon  $\theta$ , 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).