



INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

Instituto de  
Plasmas e  
Fusão Nuclear



# Sistemas de Reflectometria de Microondas e Ondas Milimétricas para Plasmas de Fusão

M. Manso e L. Cupido

*Associação EURATOM / IST , Instituto de Plasmas e Fusão  
Nuclear, 1049-001 Lisboa, Portugal.*



INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

Instituto de  
Plasmas e  
Fusão Nuclear



# Introdução

- A produção comercial de energia eléctrica a partir da fusão de átomos leves, à semelhança do que acontece no Sol e nas outras estrelas, porá à disposição do Homem uma fonte alternativa de energia de larga escala, com reduzido impacto ambiental.
- O tokamak internacional ITER em construção em França visa demonstrar a viabilidade tecnológica e científica desta nova forma de produzir energia.
- As ondas electromagnéticas são cruciais para a sondagem do plasma de fusão devido às suas elevadíssimas temperaturas, muito superiores às do centro do Sol.
- As técnicas de reflectometria baseadas nos princípios do radar e das telecomunicações permitem diagnosticar as propriedades do plasma e inclusive controlar a posição do plasma.
- No ITER o acesso à máquina é complexo e reduzido o que coloca novos desafios aos diagnósticos. Têm que evoluir para sistemas mais compactos e com maior capacidade de medida.
- Estão a ser desenvolvidos sistemas inovadores em varrimento de frequência e com hopping de frequência que permitem sondar diversas camadas do plasma durante cada descarga.



INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

Instituto de  
Plasmas e  
Fusão Nuclear



## SINOPSE

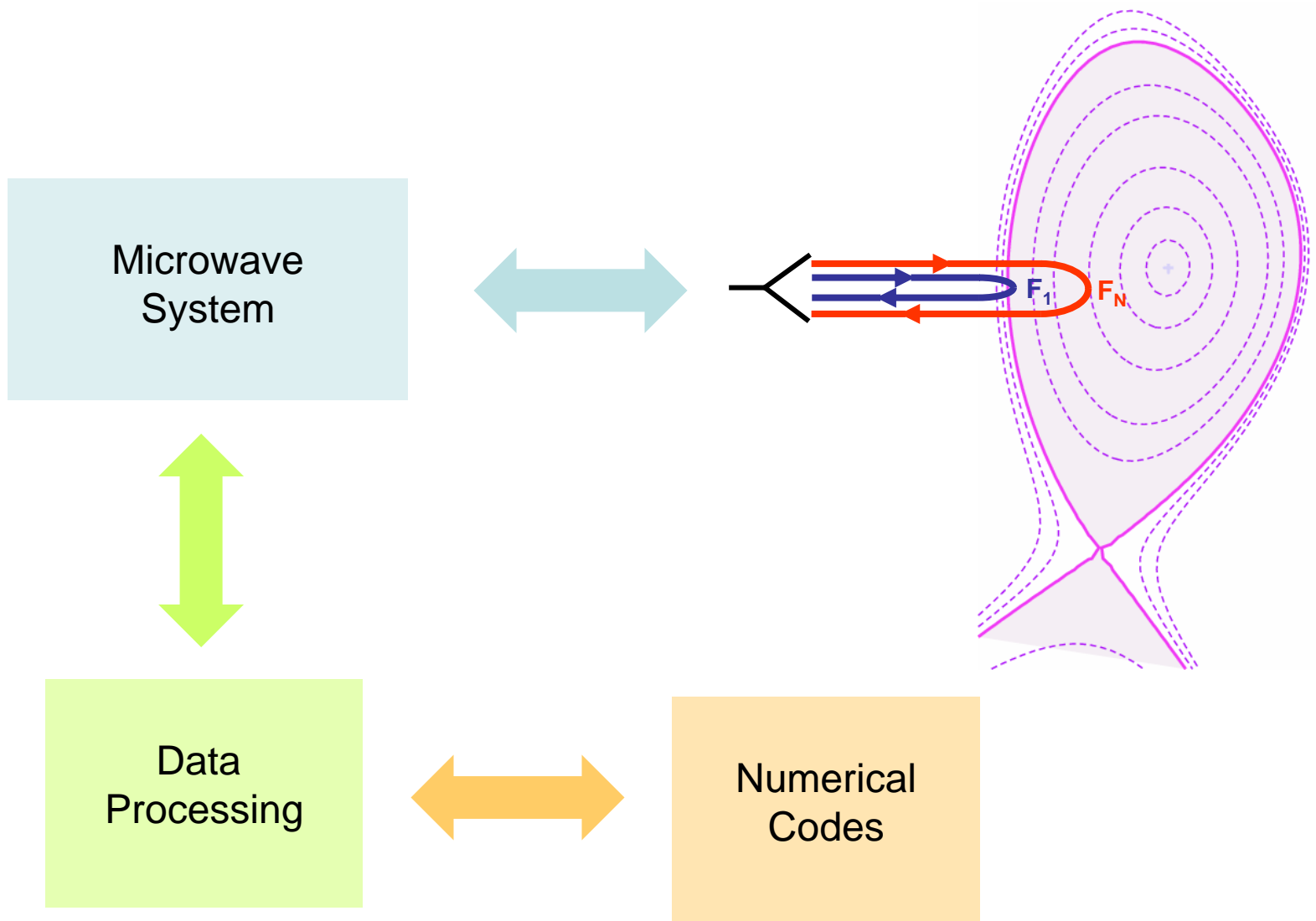
- Características principais dos sistemas de hopping e as suas potencialidades de medida.
- Exemplos da implementação deste novo tipo de diagnósticos em duas máquinas do Programa Europeu de Fusão.
- Aspectos tecnológicos de inovação e resultados obtidos.
- Melhoramentos futuros com vista ao desenvolvimento de sistemas híbridos com capacidade simultânea de efectuar medidas de distâncias (princípio do radar) e da turbulência do plasma (em frequência fixa).

# Microwave Reflectometry Diagnostics



INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

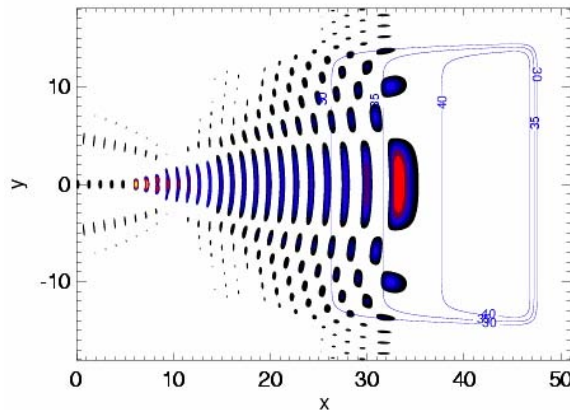
Instituto de  
Plasmas e  
Fusão Nuclear



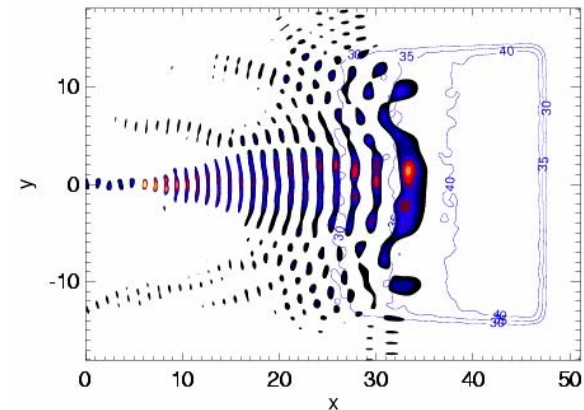
# Microwave Reflectometry Diagnostics

## Effect of Fluctuations on reflected electric field

No turbulence



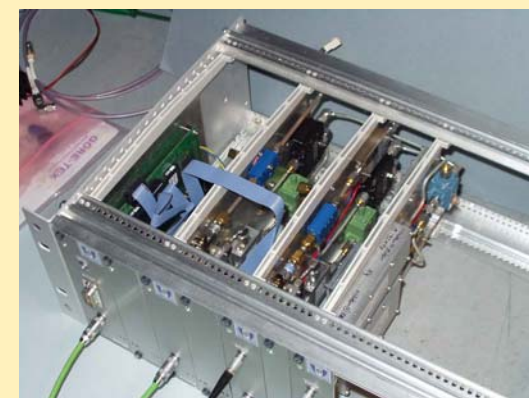
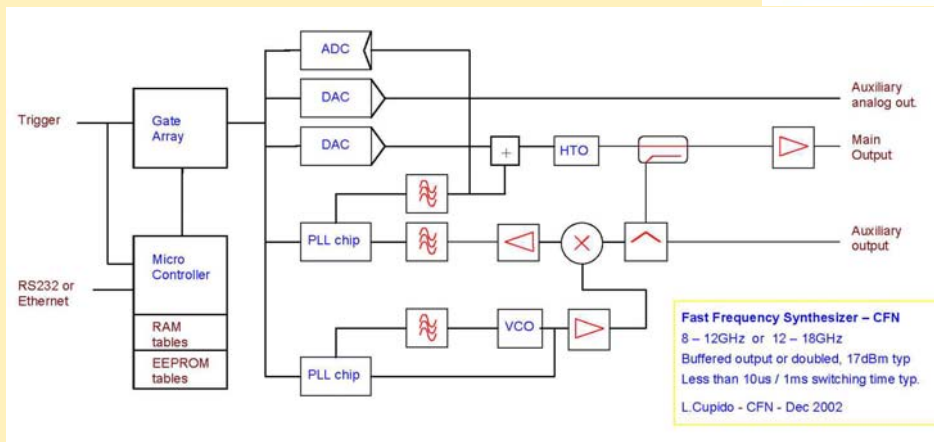
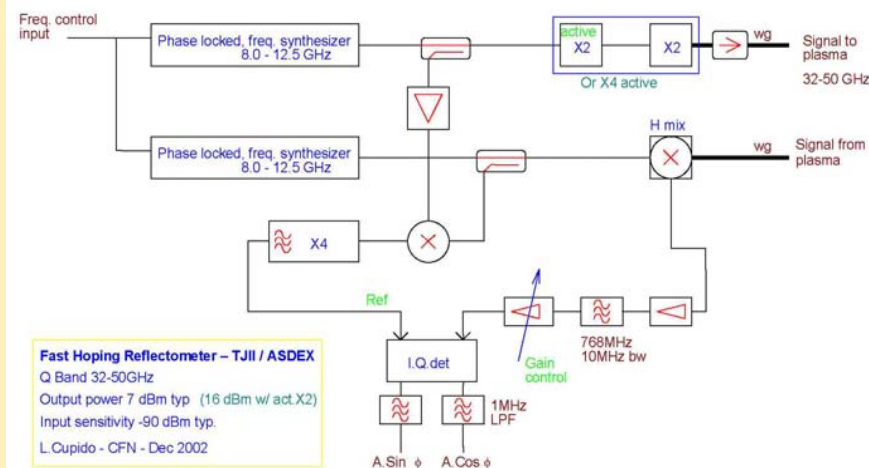
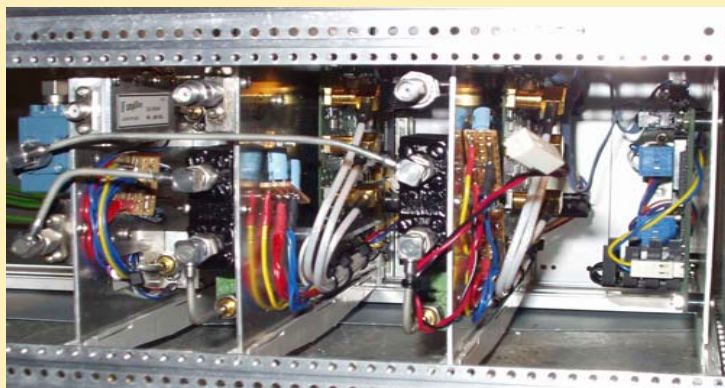
With turbulence



**The plasma density perturbations strongly distort the spatial electric field pattern causing scattering of probing wave energy.**

# Sistema de reflectometria no Stelerator TJII – CIEMAT Madrid

- Hopping reflectometer, 33-50GHz (TJII, ASDEXup) e 50-75GHz(ASDEX)
- Objectivo: medidas de turbulência e correlação radial.
- O emissor/receptor salta rápidamente de frequência em frequência (<1ms)
- É feita uma deteção de fase/amplitude
- Emprega síntese de frequência.





INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

Instituto de  
Plasmas e  
Fusão Nuclear

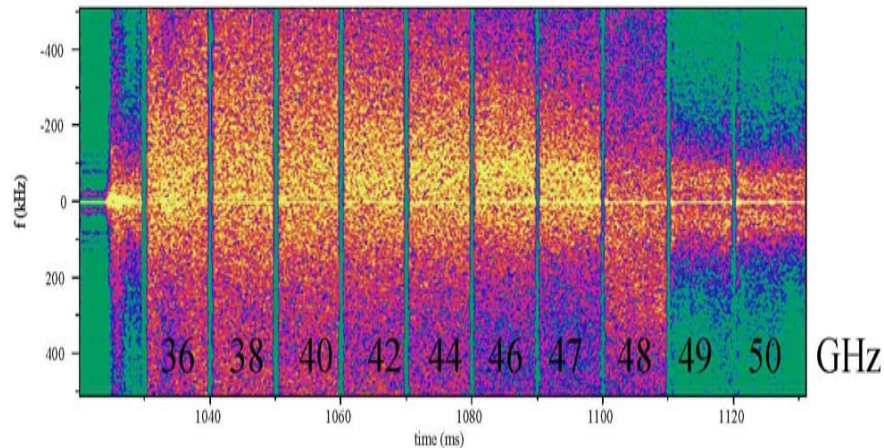


## Some results

Tests with plasma were done at TJII using the system in the fast hopping mode with 10ms steps.

It was possible to measure the frequency spectra of the reflected signals

The figure below displays the frequency spectra of the reflectometry complex amplitude ( $A_{eif}$ ) for different incident frequencies.



In this example the incident frequency is varied in steps of 10 ms from 36 to 50 GHz while the line averaged density stays almost constant ( $\langle n_e \rangle \approx 10^{19} \text{m}^{-3}$  during the time interval 1030 to 1130 ms).

Note that the last two frequencies (49 & 50 GHz) are higher than the highest cut-off frequency and the reflectometer is working as an interferometer, being the signal reflected at the inner vessel wall.

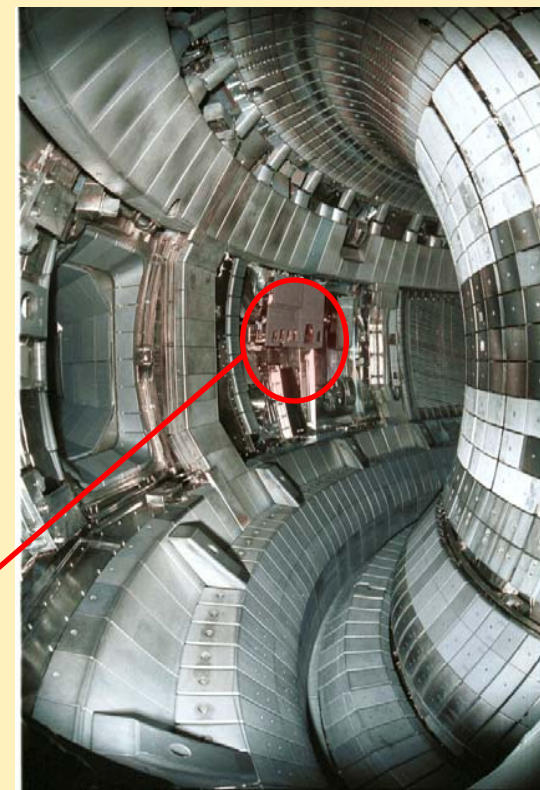
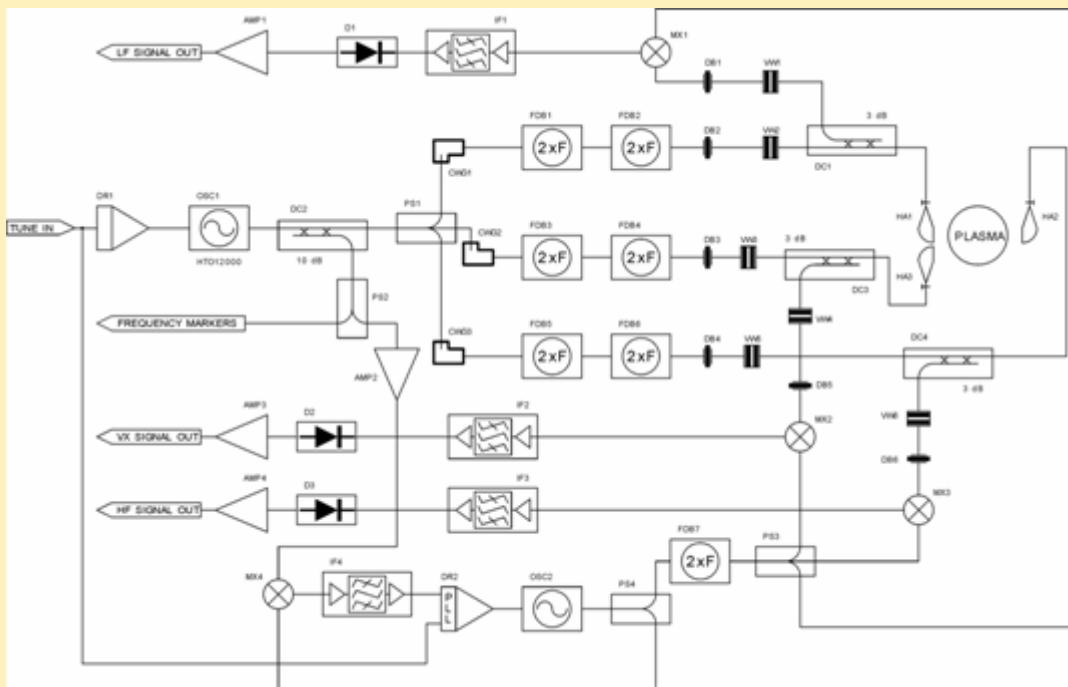
# Sistema de reflectometria no ASDEX – IPP, Munique

- ASDEX Upgrade tokamak - reactor de tamanho médio ( $r = 60\text{ cm}$ )
- O único sistema de reflectometria com medição no lado de fora e lado de dentro do plasma (HFS + LFS).
- Cobre a gama de frequência 18 a 110GHz num varrimento de 20 $\mu\text{s}$ .



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear

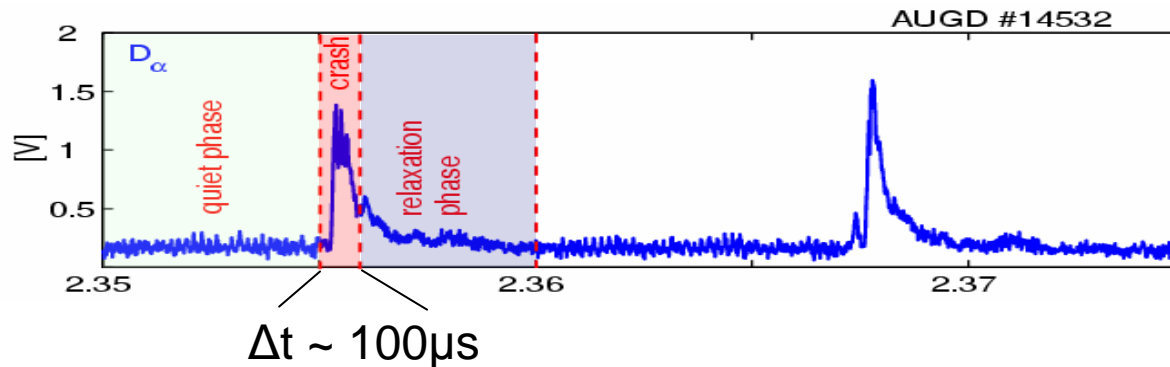






## ELMy H mode regime

- The ELMy H-mode regime is the ITER reference mode of operation.
- Formation of edge transport barrier with steep edge pressure.
- The ELMs (Edge Localized Modes) cause transient collapse of edge transport barrier and transport energy and particles into divertor plates.
- ELMs are essential to exhaust impurities and thermal load.



- Understanding and controlling ELMs is essential to achieve regimes with maximum performance and tolerable ELMs.

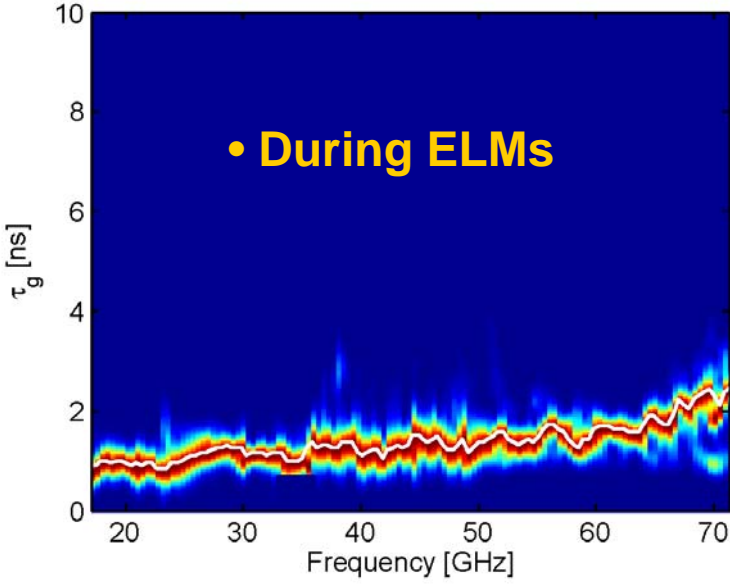
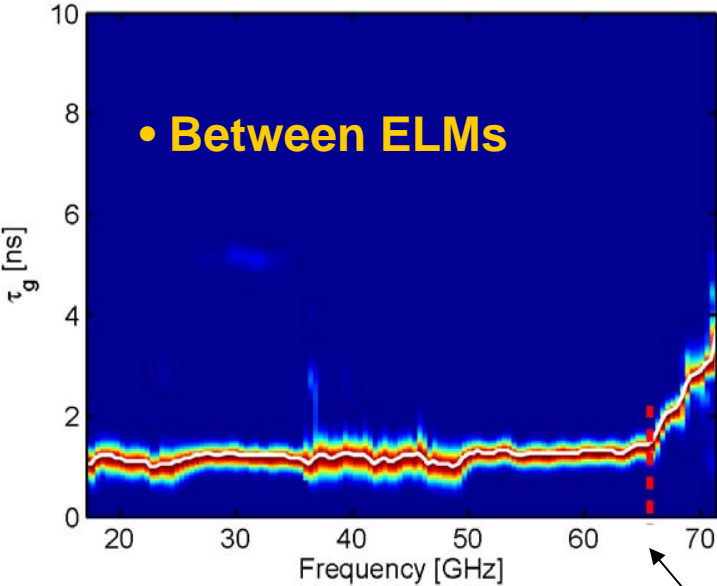


INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

Instituto de  
Plasmas e  
Fusão Nuclear

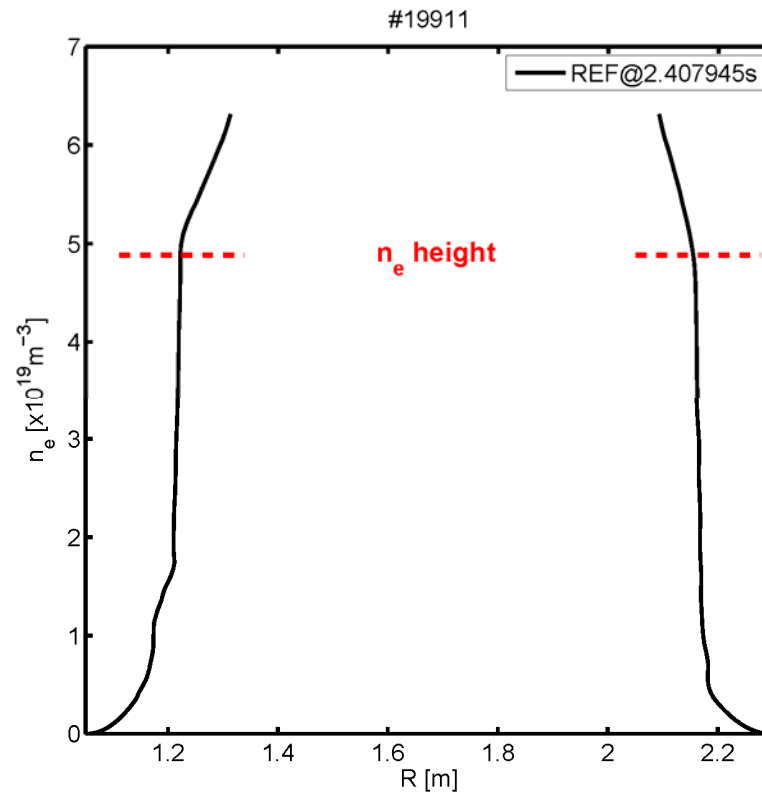


# Spectrograms from broadband reflectometry signals



**Profile shoulder**

# Density profiles HFS/LFS in H mode regimes in ASDEX Upgrade



- Edge pedestal between ELMs
- Pedestal height is an important parameter as it indicates plasma performance.
- Pedestal height is limited by MHD edge perturbations – ELMs.

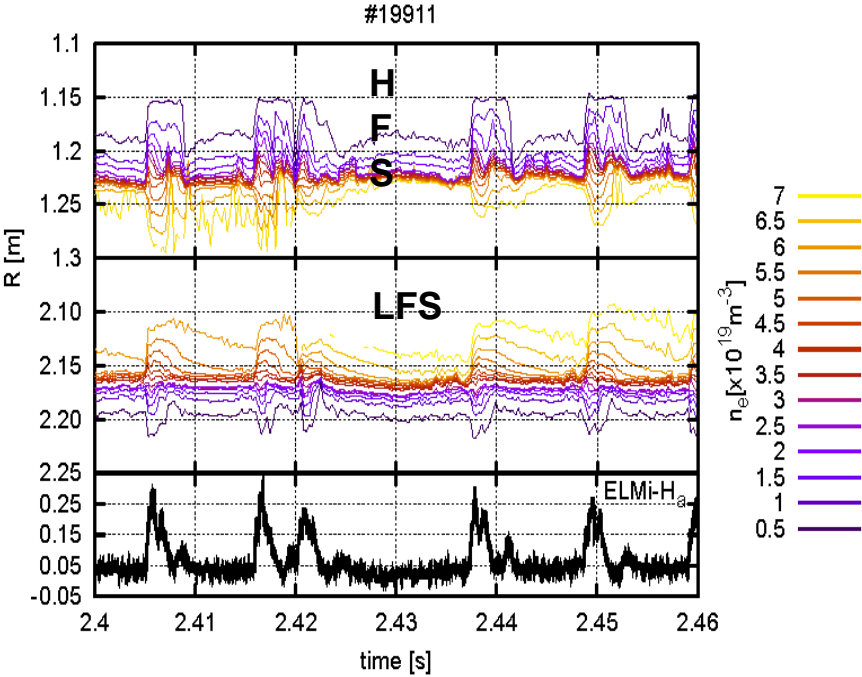


INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear



# Pedestal dynamics due to ELMs



- HFS picture looks more complex
- Increase density level at SOL lasts longer
- 1-2 ms after H $\alpha$  decrease.
- Sudden density decrease correlated with small D $\alpha$  response.

• Why does the SOL HFS density last longer than in LFS?

• What causes the small secondary peaks?

• Results suggest that time scales in the SOL are different in the HFS and LFS



INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

Instituto de  
Plasmas e  
Fusão Nuclear



# FUSION PLASMAS – Creating a star on earth

- Understanding the plasma is vital for maximum ITER performance.
- Reflectometry techniques using microwave and mm waves are crucial for ITER.