

Diagnostic de spectro-tomographie et mesure optique de champ électrique dans un plasma

Permanents : Y. Camenen, N. Dubuit, **A. Escarguel**, D. Ferrand, V. Gonzalez, **L. Chérigier-Kovacic**, A. Poyé, G. Serin

Doctorants/post-doc : S. Aggarwal, R. Baude, P. David, V. Gonzalez, J. Herbelot (stage M2), T. Vidril (stage M1)

Services de mécanique/électronique du PIIM

La machine Mistral (laboratoire PIIM)

Paramètres physiques

$$r_{\text{plasma}} = 40 \text{ mm}$$

$$P_{\text{vide}} = 10^{-4} \text{ Pa}$$

$$P_{\text{gaz}} = 10^{-2} - 10 \text{ Pa}$$

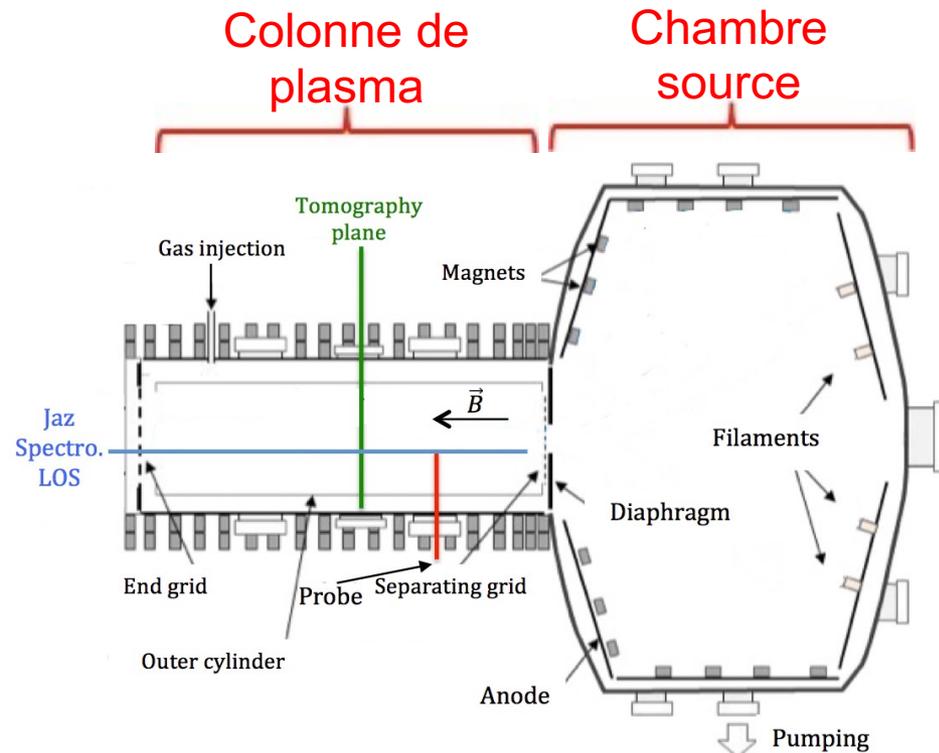
$$B < 40 \text{ mT}$$

$$\rho_l (\text{é}) = 2-4 \text{ mm}$$

$$\rho_l (\text{Ar}^+) = 20 \text{ mm}$$

$$n_e = 10^8 - 10^{11} \text{ cm}^{-3}$$

$$T_e = 0.5 - 8 \text{ eV}$$



→ Etude des instabilités d'un plasma magnétisé et développement de diagnostics optiques

Appli pédagogique/CST Mistral pour smartphones/PC/MAC

La machine Mistral

→ Etude des instabilités d'un plasma en champ croisé

- Comprendre et prédire l'auto-organisation d'une colonne de *plasma partiellement ionisée* et *faiblement magnétisée* (Projet ANR SOPLASMA : PIIM, LAPLACE, Laboratoire de physique ENS Lyon)*
- Thèse en cours de **S. Aggarwal** (co-encadrement avec Y. Camenen) : analyse théorique/numérique sur l'étude physique des instabilités («rotating spoke »).

→ Développement de diagnostics optiques

- Diagnostic de **tomographie/spectro-tomographie** (projet PIIM/CPPM/IRFM initié avec AMIDEX DEMON)
- **EFILE** : mesure optique locale du champ électrique d'un plasma

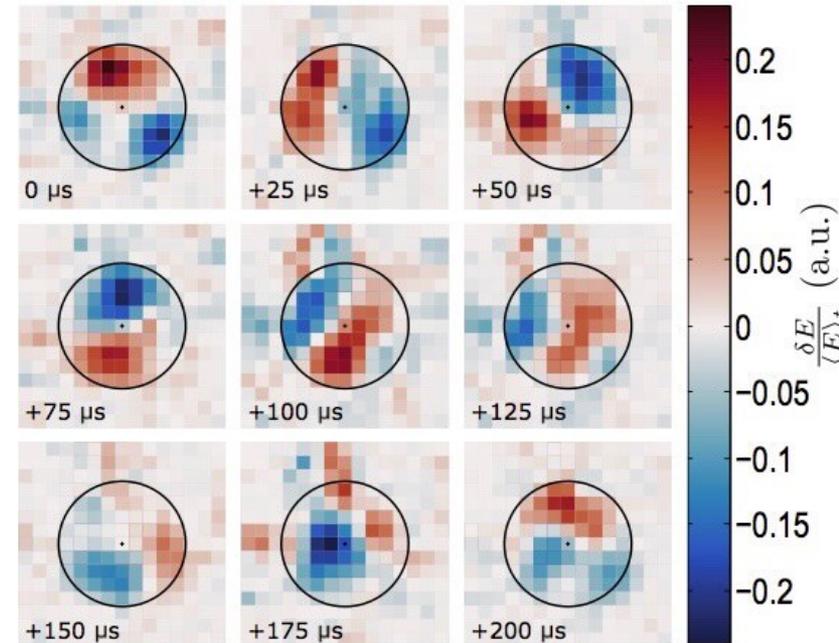
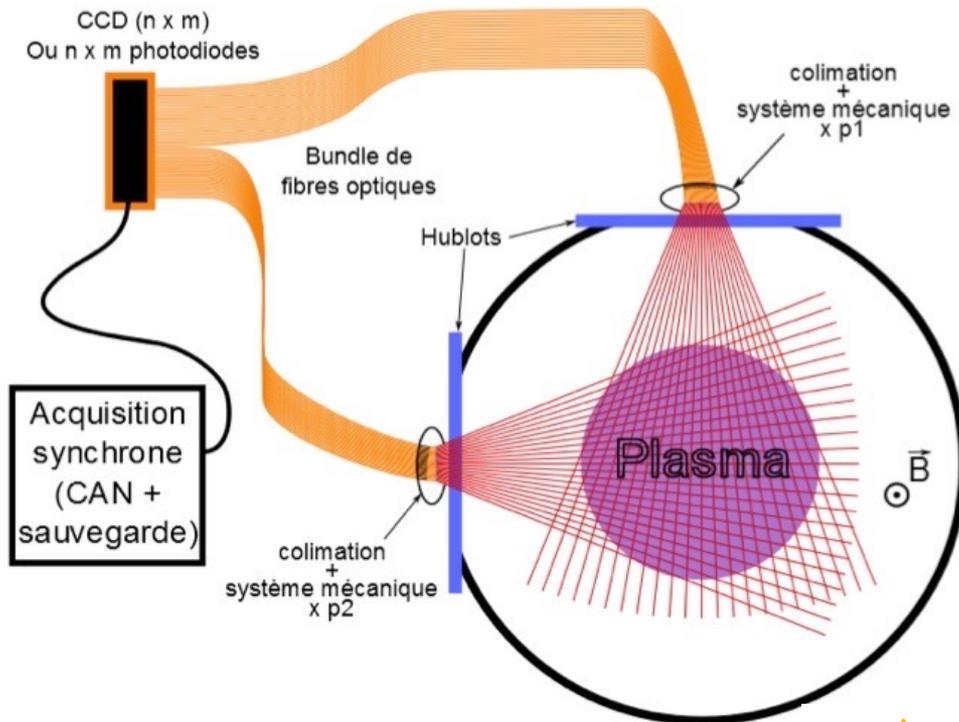
* Workshop SOPLASMA, 14-16 juin,
Marseille

<https://gitlab.com/soplasma/soplasma>

Tomographie / spectro-tomographie

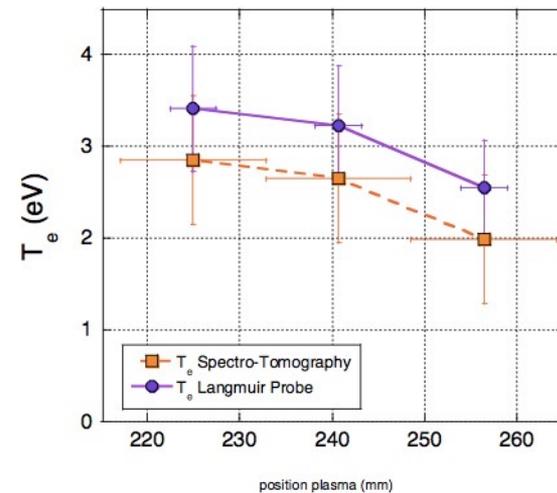
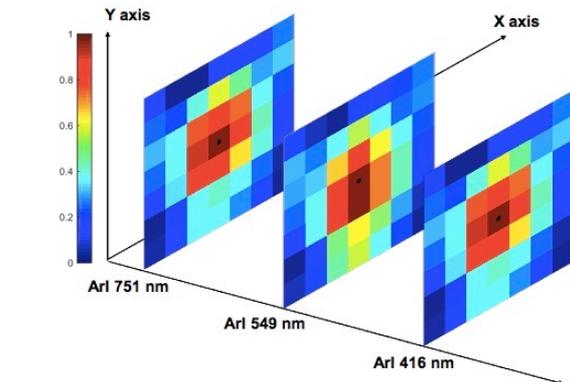
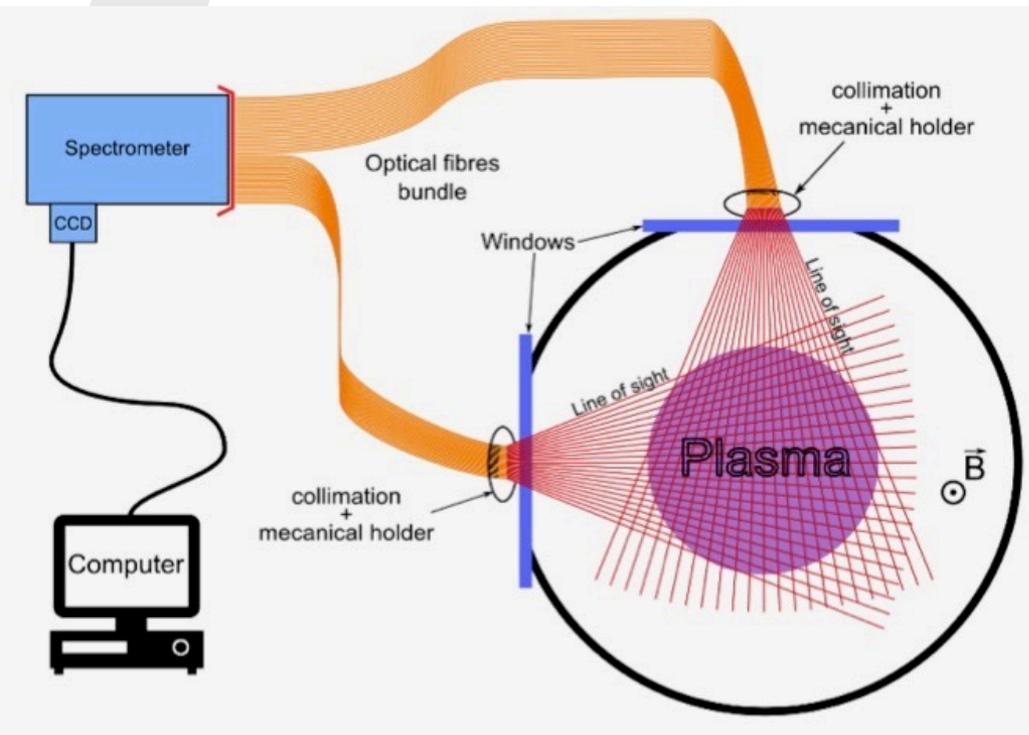
Tomographie optique non intrusif d'une tranche de plasma

- 64+64 lignes de visées colimatées
- 2 matrices SiPM synchronisées



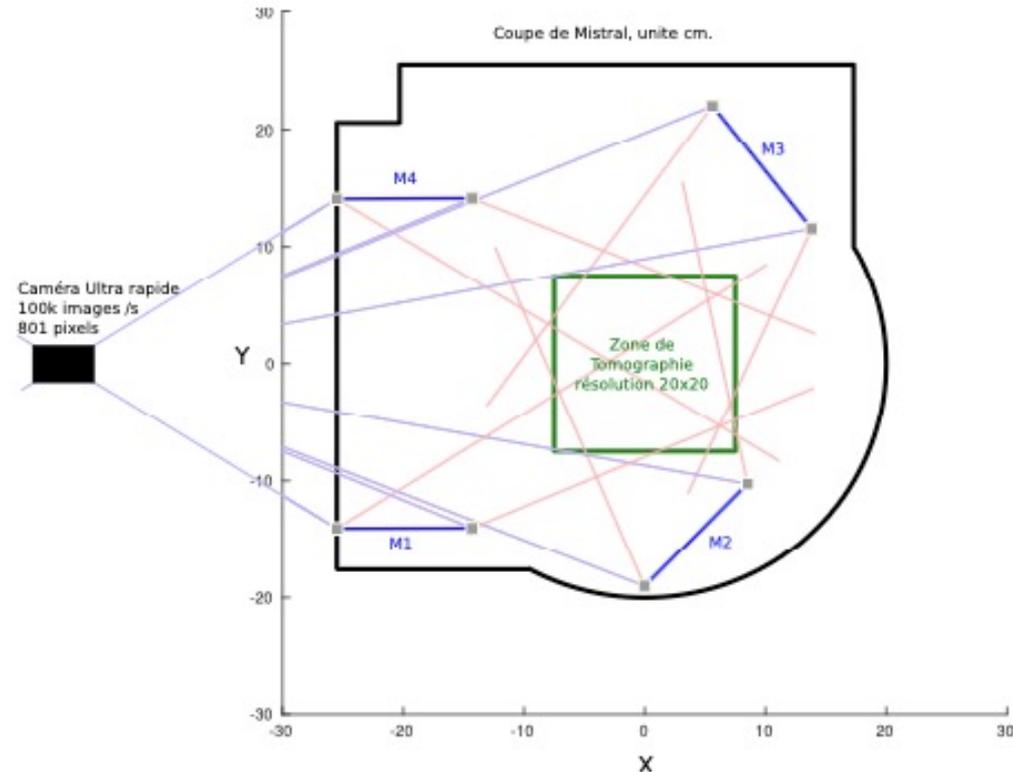
Spectro-tomographie optique non intrusif d'une tranche de plasma

→ 25+24 lignes de visées colimatées



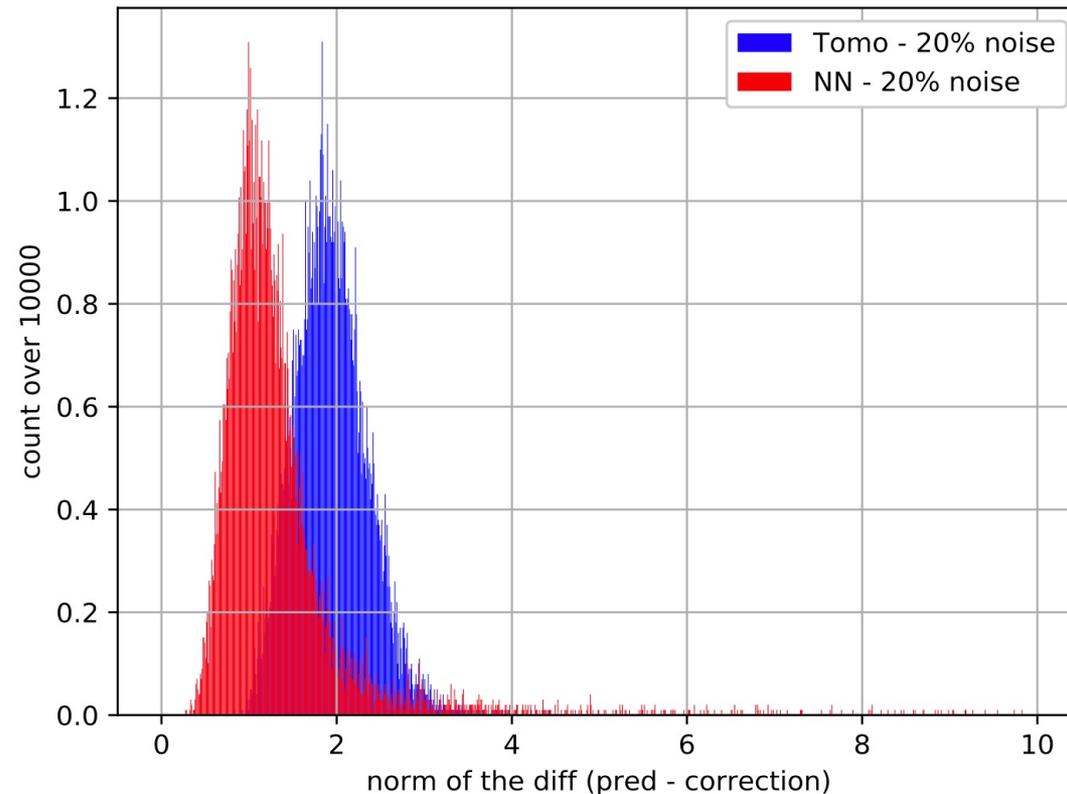
Tomographie optique : passage à un système miroirs + caméra

- 5 visées simultanées (4 miroirs + visée directe) du plasma vues par une caméra
- En cours de réalisation par l'atelier de mécanique du PIIM
- Chaque pixel voit une ligne de visée



Tomographie optique : développement d'un algorithme basé sur les réseaux neuronaux (A. Poyé)

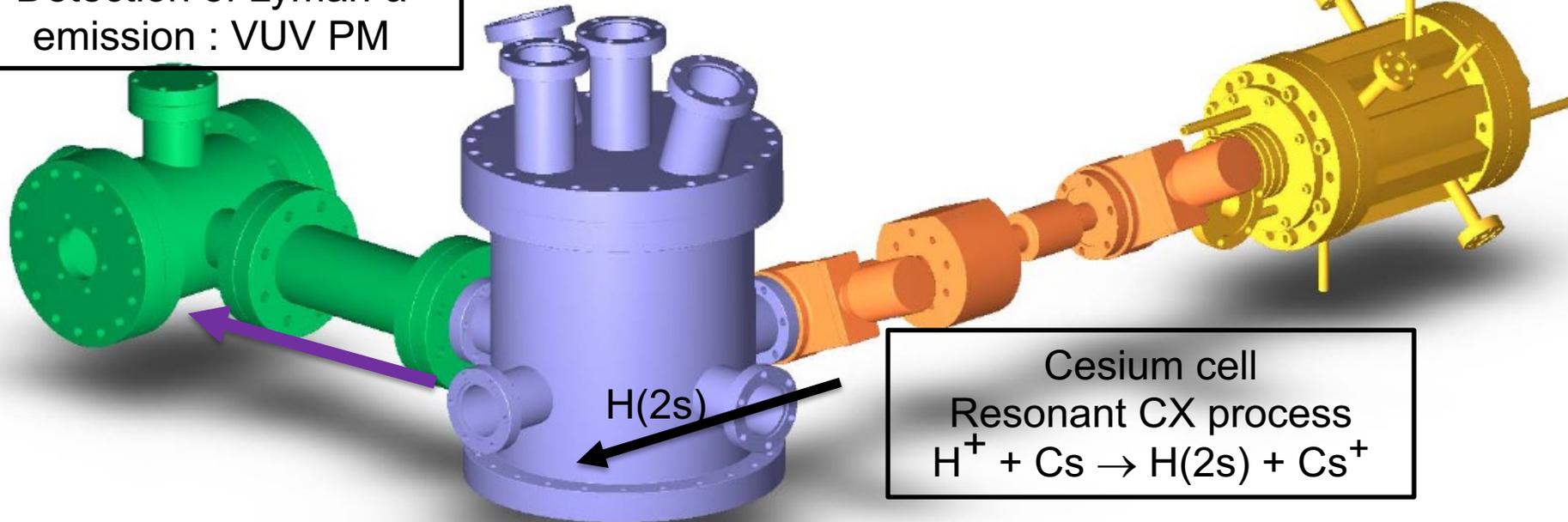
- Apprentissage à l'aide d'un algorithme dédié.
- Meilleures performances lorsqu'il y a du bruit par rapport à une inversion tomographique.
- Travail en cours de développement, **applicable à tout type de tomographie**
- **Perspectives : passage à la spectro-tomographie.**



Mesure optique locale du champ électrique dans un plasma (EFILE)

Dispositif expérimental

Detection of Lyman α
emission : VUV PM



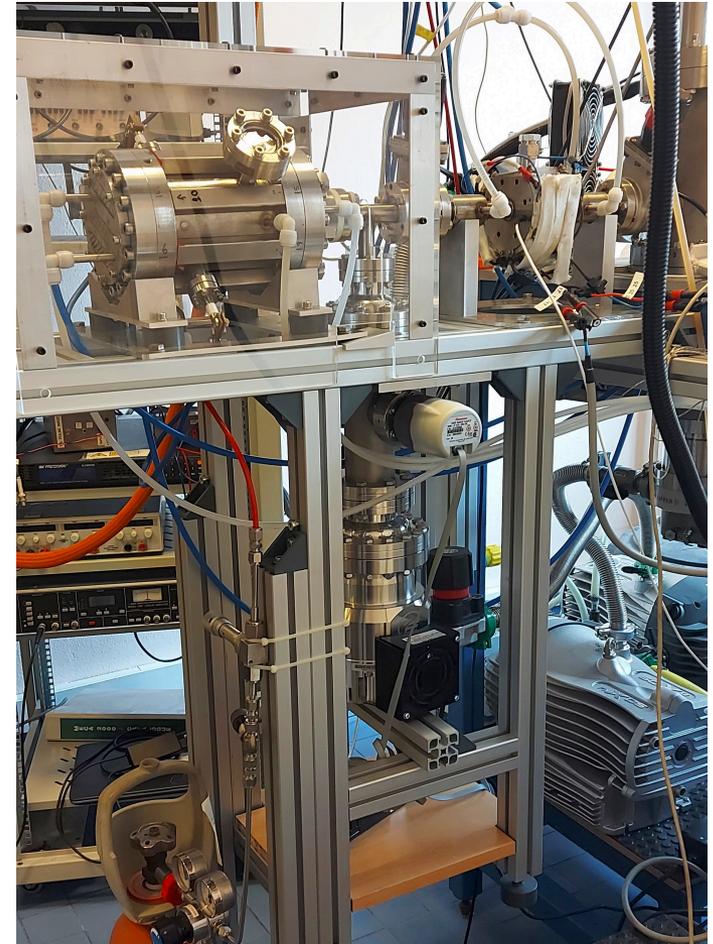
Plasma source : 500 V polarization
+ Einzel lenses (extraction)

Cesium cell
Resonant CX process
 $H^+ + Cs \rightarrow H(2s) + Cs^+$

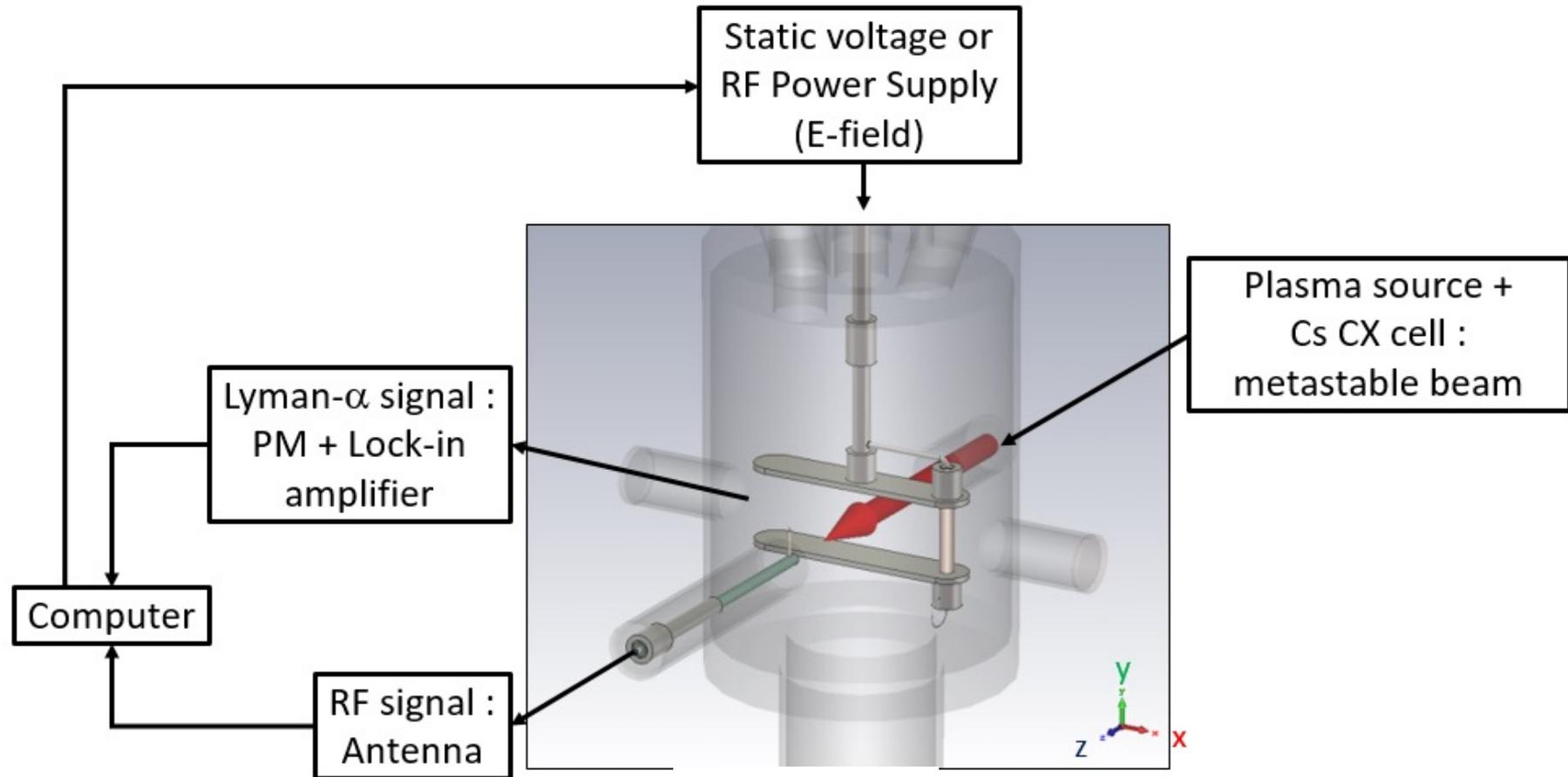
Measurement chamber :
interaction between probe beam and electric field
beam / plasma diagnostics

Mesure optique locale du champ électrique dans un plasma (EFILE)

- Mesure de l'amplitude du champ électrique
 - Diagnostic validé :
 - dans le vide avec E statique/RF
 - Dans un plasma avec E statique
- Installation du diagnostic sur Mistral pour mesurer le champ électrique local dans une instabilité en rotation



Modélisation avec CST de l'enceinte d'EFILE

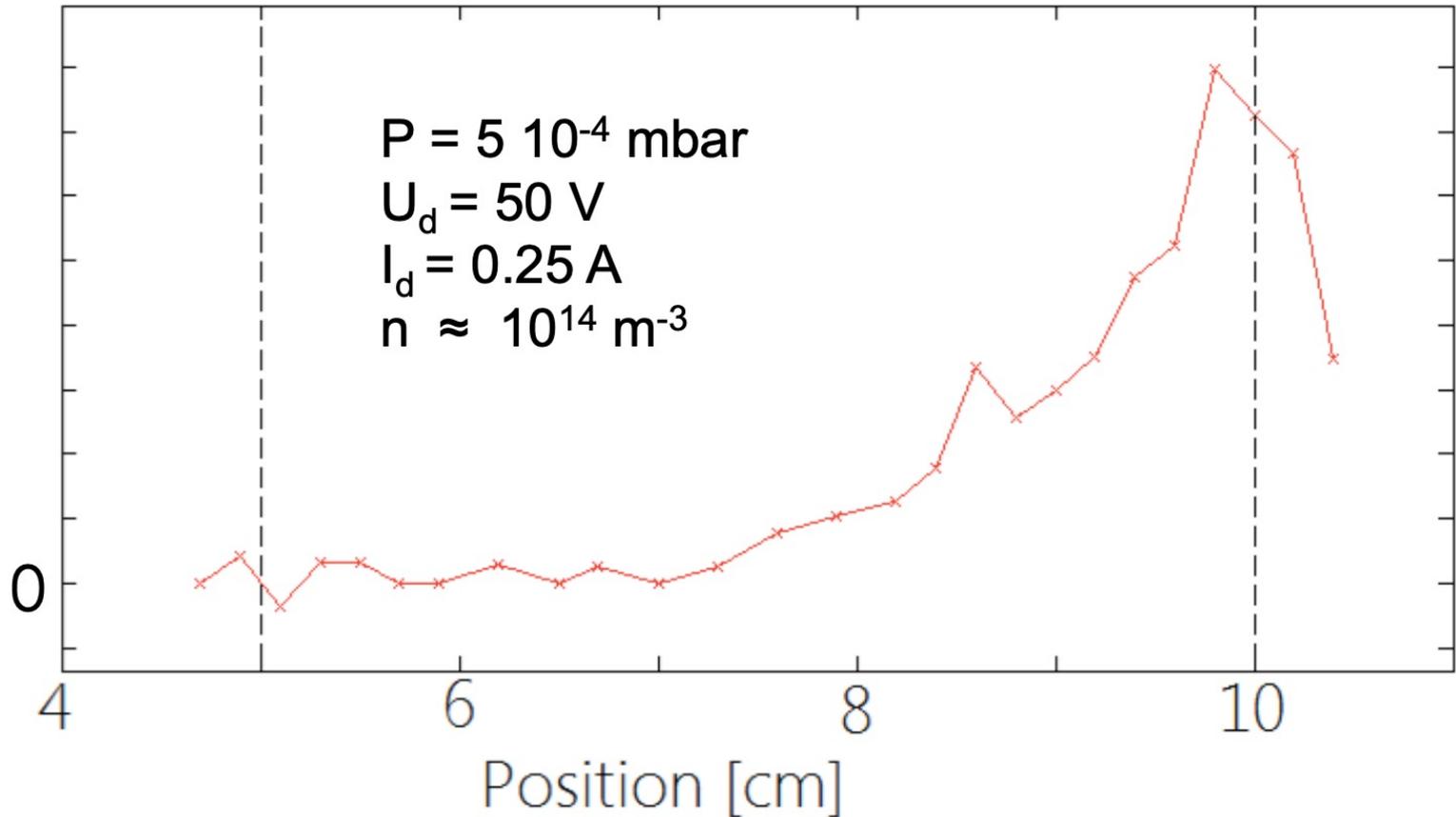


EFIELD dans un plasma – champ E statique

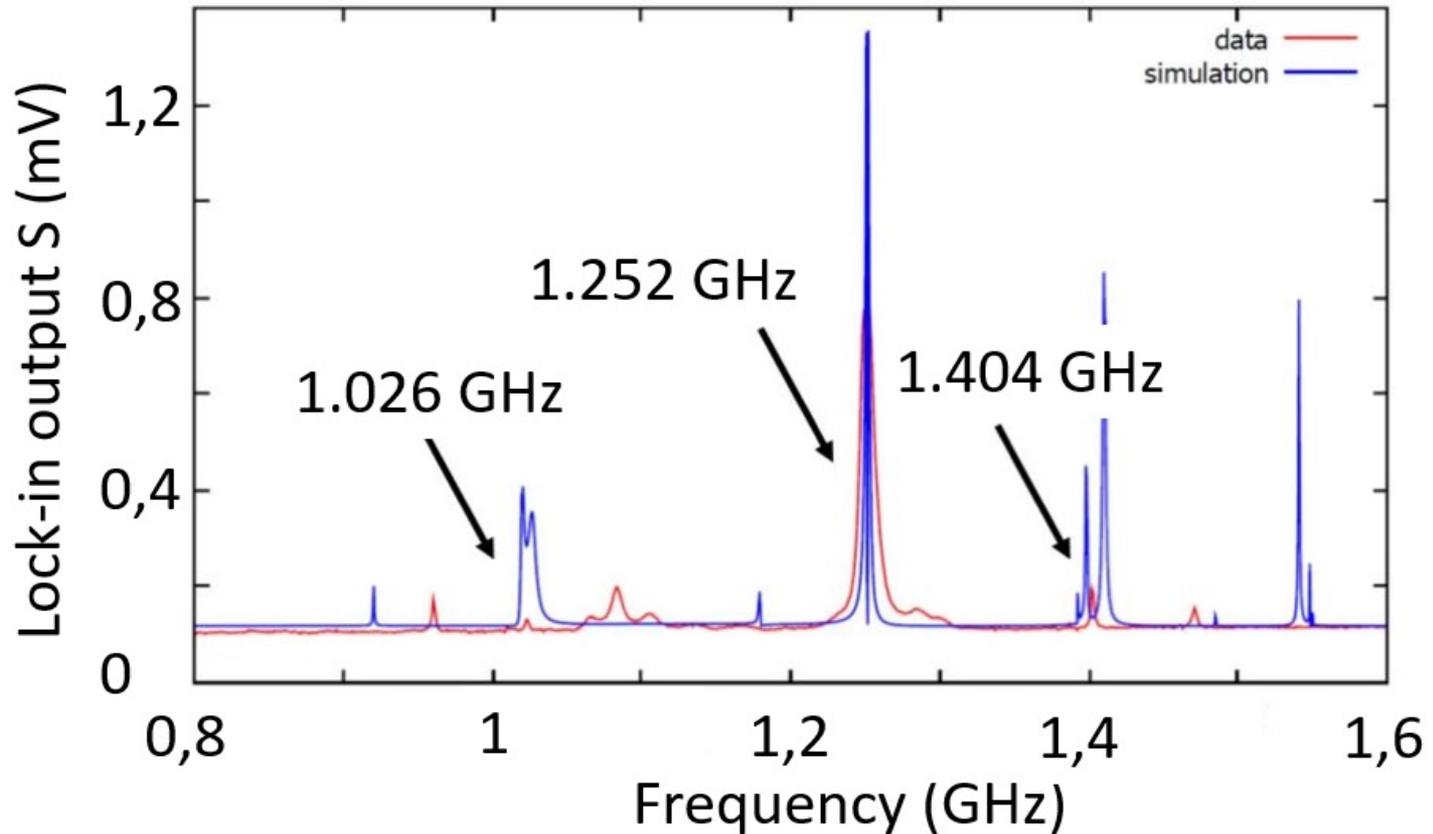
Field strength [Arbitrary unit]

grounded plate

polarized plate
@ -100 V

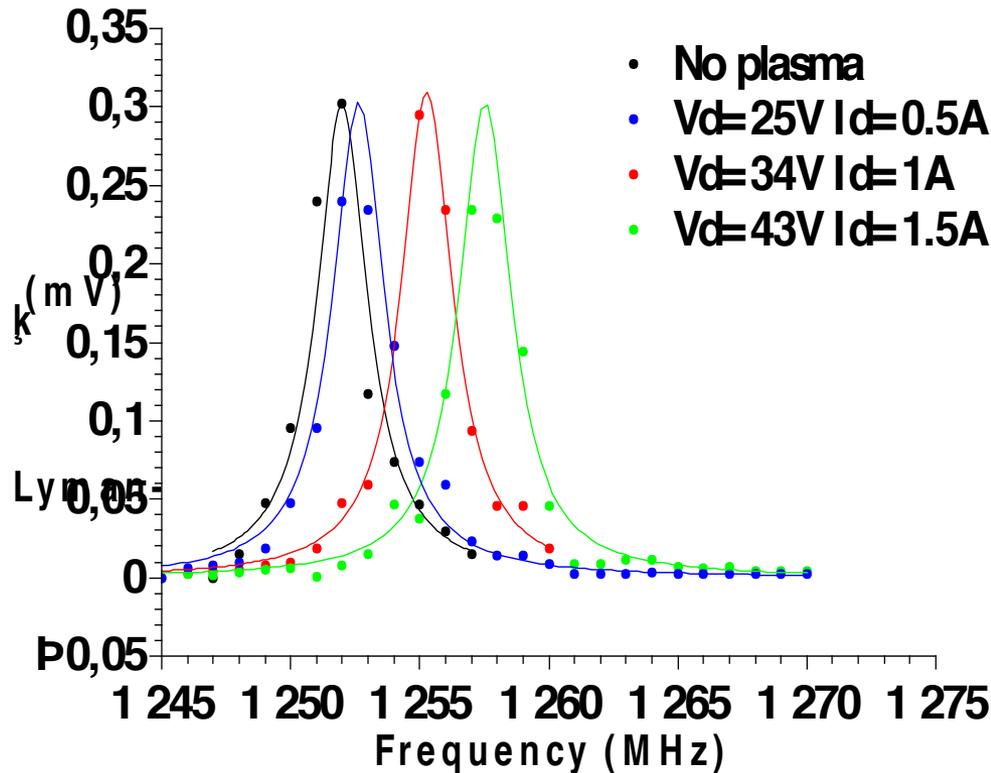


EFIELD dans le vide avec un champ RF : comparaison expérience dans le vide / CST



EFILE dans un plasma avec un champ RF : décalage du pic de résonance à 1,25 GHz = $f(n_e)$

Shift of 1252 MHz-mode



F (MHz)	n_e (cm ⁻³)
1252	0
1252,6	$1,8 \cdot 10^7$
1255,3	$1,0 \cdot 10^8$
1257,5	$1,7 \cdot 10^8$

$$n_e = \frac{2m_e \epsilon_0 \omega^2 \Delta\omega}{e^2 \omega_0}$$

EFILE dans un plasma avec un champ RF : comparaison de n_e avec d'autres méthodes

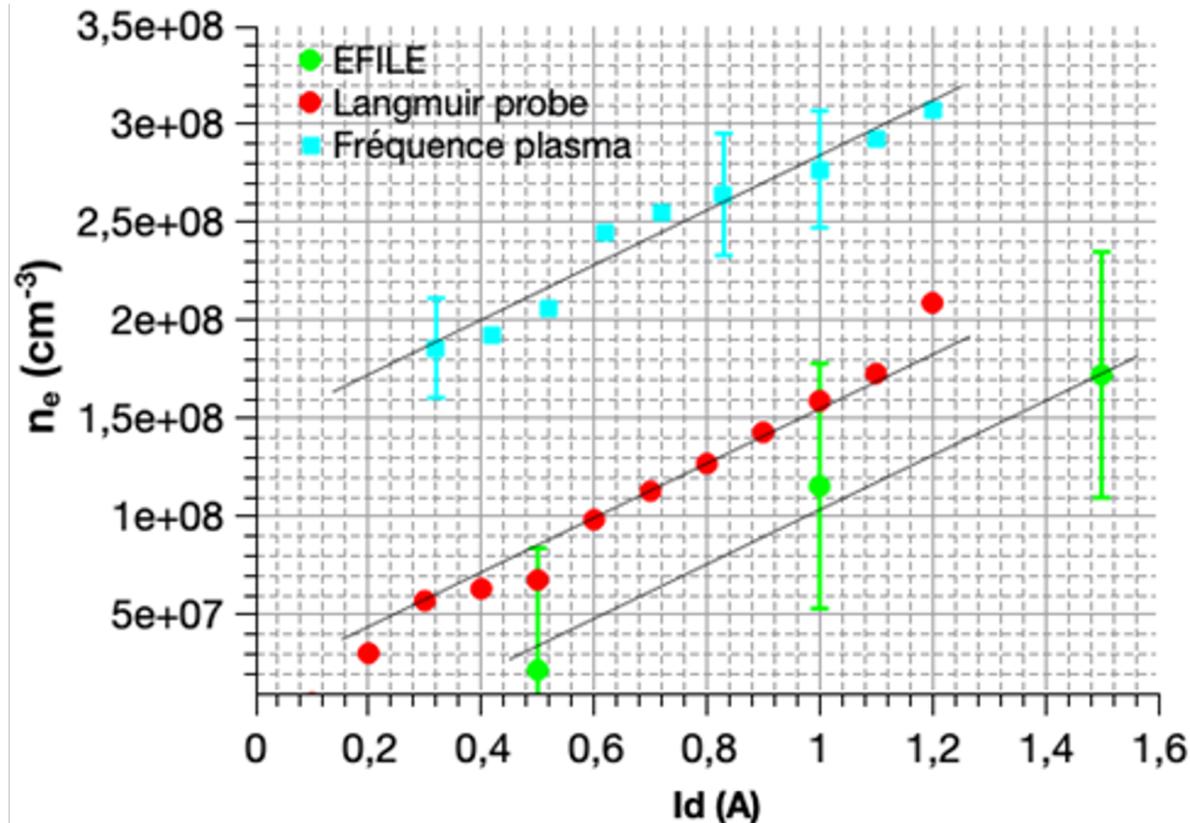
1) Mesure de la fréquence plasma

$$\omega_p^2 = \frac{n_e e^2}{m_e \epsilon_0}$$

2) Sonde de langmuir

3) Modes de résonance de la cavité :

$$n_e = \left(\frac{4\pi^2 m_e \epsilon_0}{e^2} \right)^2 \frac{2f^2 \Delta f}{f_0}$$



Perspectives

- Les 4 miroirs de tomographie en cours de réalisation (atelier mécanique PIIM) : installation fin 2022
- 2022 : Poursuite des tests du diagnostic EFILE avant installation d'EFILE sur Mistral
- 2024 : nouvelle source hélicon en plus de la source multipolaire

Merci de votre attention