

# SEISM : Source d'ions à 60 GHz pour les accélérateurs du futur

---

T. André<sup>1</sup>, T. Thuillier<sup>1</sup>, P. Sole<sup>1</sup>, M. Baylac<sup>1</sup>,  
J. Angot<sup>1</sup>, F. Debray<sup>2</sup>, I. Izotov<sup>3</sup>, V. Skalyga<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Université Grenoble-Alpes, CNRS-IN2P3,  
Grenoble Institute of Engineering (INP), LPSC, 38000 Grenoble, France

<sup>2</sup>LNCMI, CNRS-UGA-UPS-INSA, 25, avenue des Martyrs, 38042 Grenoble, France

<sup>3</sup>Institute of Applied Physics, RAS, 46 Ulyanova St., 603950 Nizhny Novgorod, Russian Federation



- 1 Introduction aux source d'ions RCE**

---

  - Principe de fonctionnement
  - Configuartions magnétiques
  - Propriétés des sources RCE
  
- 2 Motivations pour des source hautes fréquences RCE**

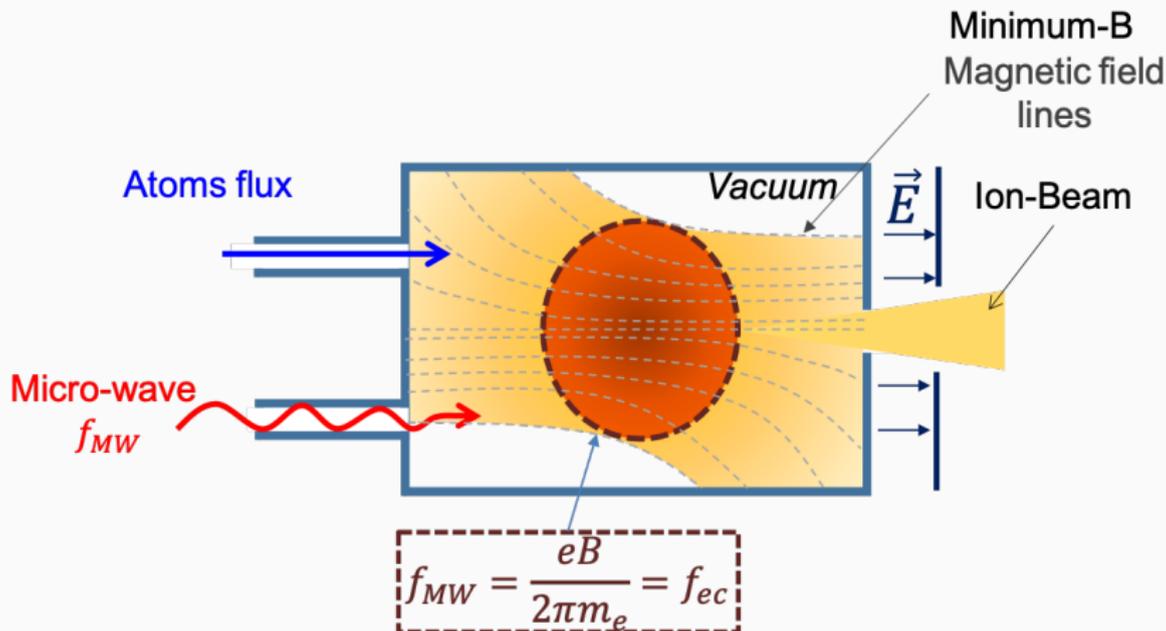
---
  
- 3 Historique et perspectives de la source RCE 60 GHz**

---

  - Précédentes expériences (2014)
  - Futures Expériences
  - Installation des équipements
  
- 4 Perspectives à long terme**

---

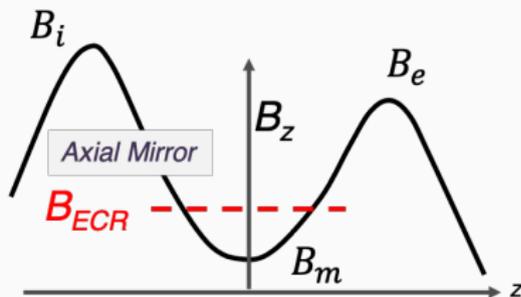
Créés par R. Geller au CEA Grenoble dans les années 1960



RCE = Résonance Cyclotronique Electronique

Le piège magnétique est créé par une combinaison de différents éléments magnétiques :

- Bobines pour le confinement axial
- Hexapôle pour le confinement radial

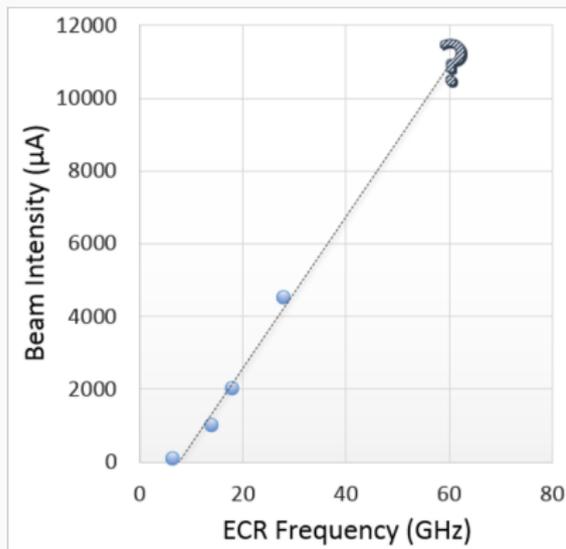


**Table:** Configuration magnétique pour une source d'ions RCE à minimum B

Composantes	Intensité
$B_{inj}$	3-4 $B_{RCE}$
$B_{med}$	0.4-0.8 $B_{RCE}$
$B_{ext}$	2 $B_{RCE}$
$B_r$	2 $B_{RCE}$

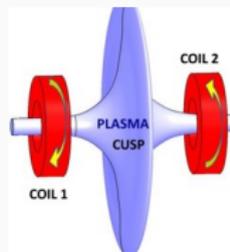
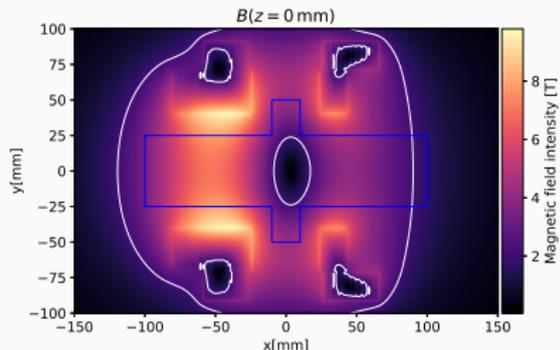
## Courant d'ions extrait d'une source

$$I_{\text{faisceau}} \propto n_{\text{plasma}} \propto f_{RCE}^2 \propto B_{RCE}^2$$



## Champ magnétique pour 60 GHz

$$f_{RCE} = 60 \text{ GHz} \rightarrow B_{RCE} = 2.14 \text{ T}$$



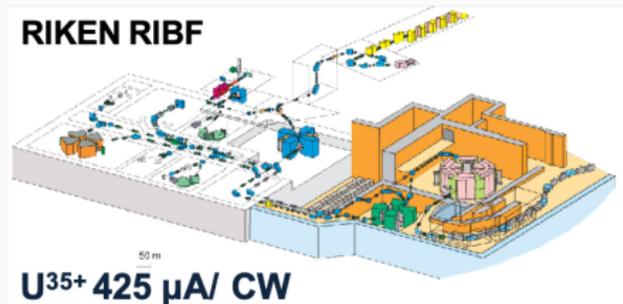
CUSP magnétique

# Motivations pour des source hautes fréquences RCE

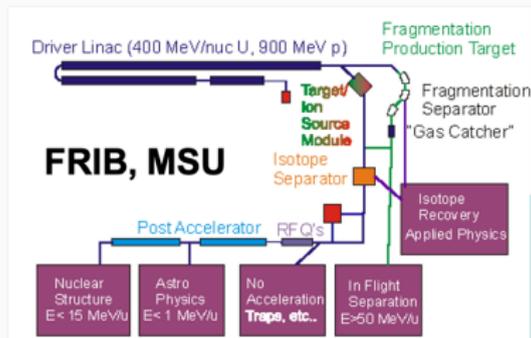
- Nouvelles générations d'accélérateurs demandent de faisceaux de hautes intensités



**IMP HIAF**  
 $U^{35+}$  700/1750  $\mu A$  (CW/400  $\mu s$ )

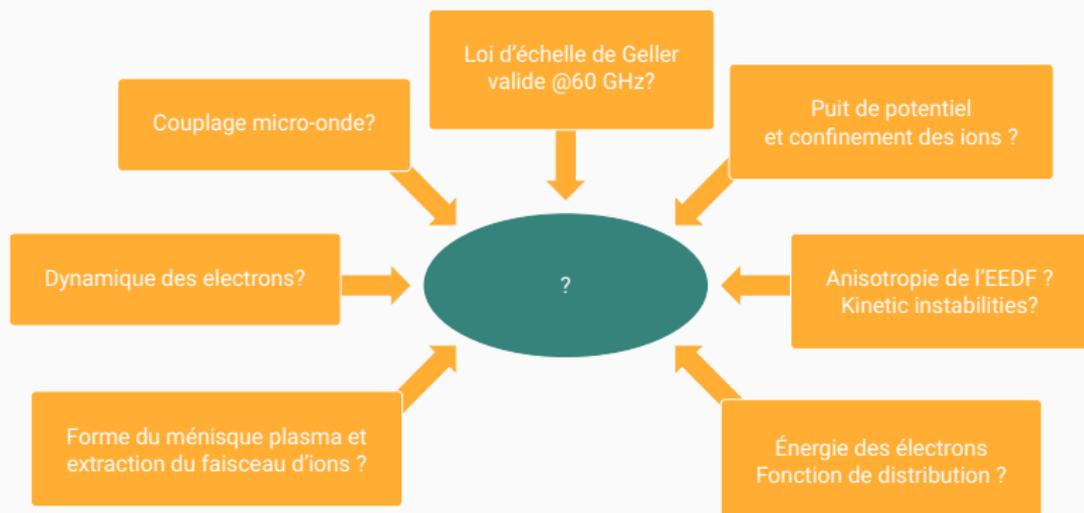


**RIKEN RIBF**  
 $U^{35+}$  425  $\mu A$  / CW



**270  $U^{33+}$  + 270  $U^{34+}$  CW**  
**with two charge states**

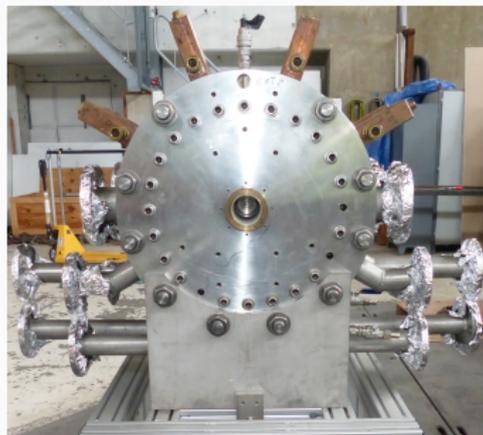
Le plasma RCE est qualitativement compris mais de nombreuses questions demeurent



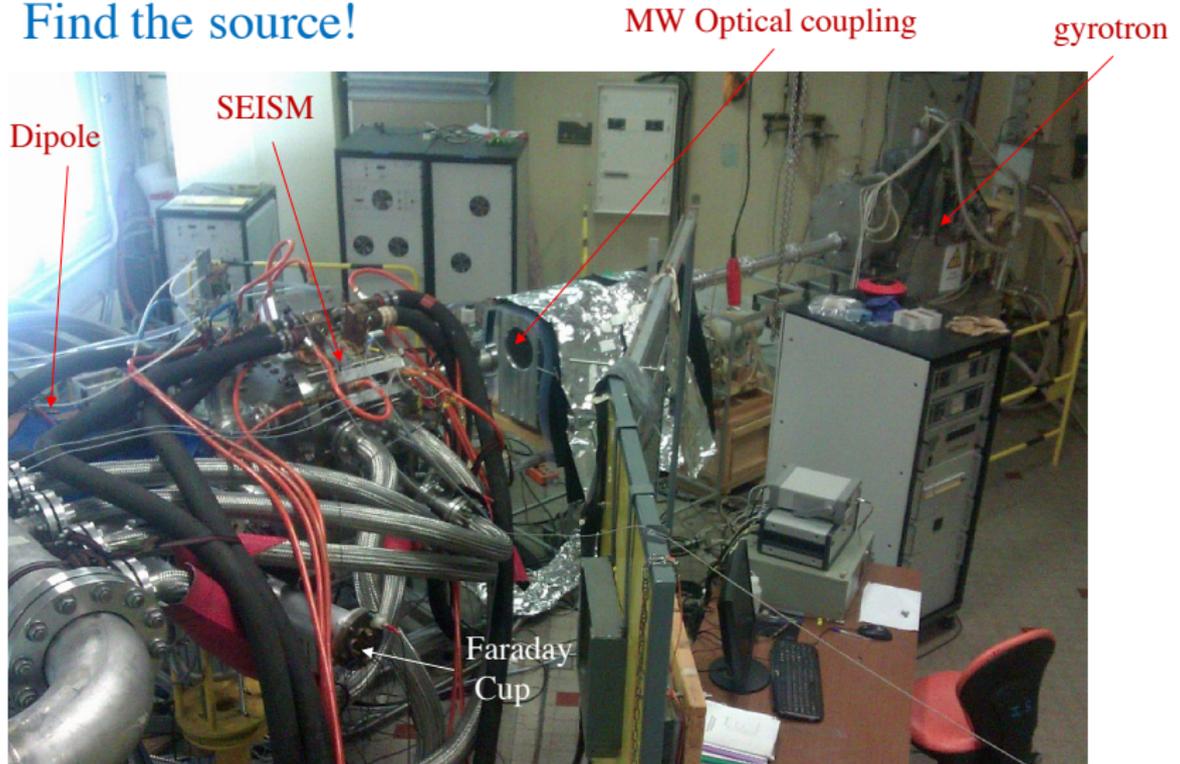
Intérêt d'étudier la physique des plasmas RCE dans une source de grand volume

- Capable de fonctionner de 2.45 GHz to 60 GHz
- Accès facile pour les diagnostic plasma : diffusion Thomson, interférométrie...

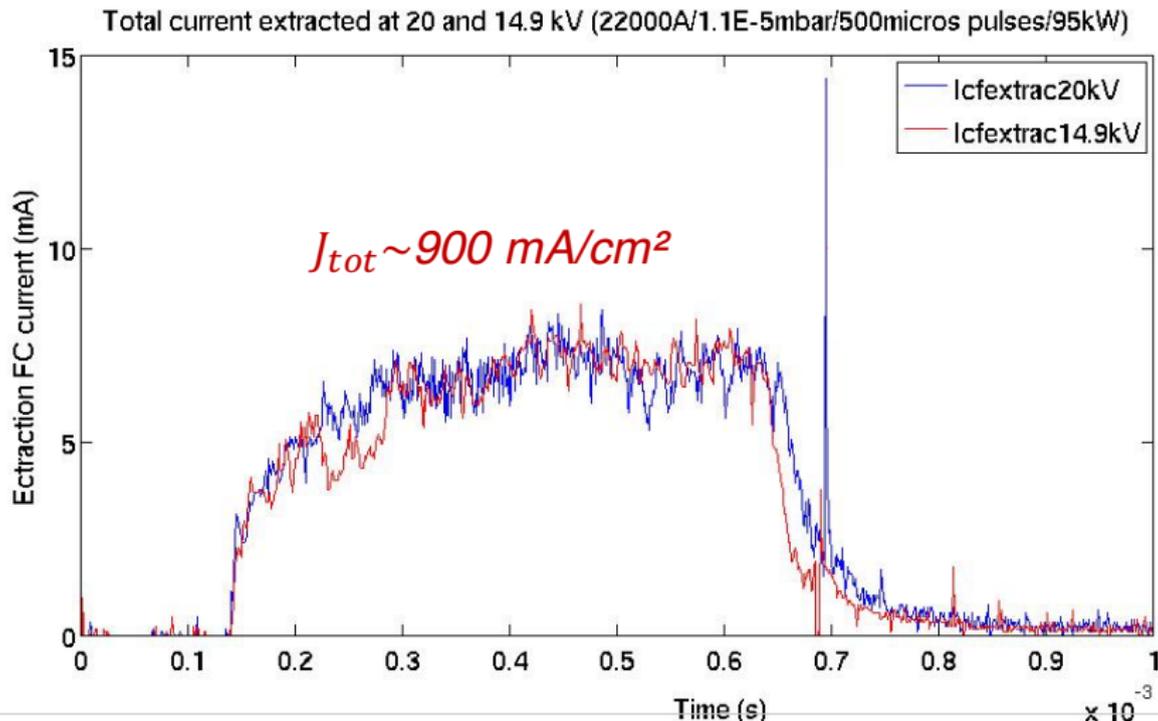
- **SEISM** : Sixty gigahertz Ion Source using Megawatt magnets.
- Bobines construites avec le LNCMI, où l'expérience est installée.
- Pour la production de micro-ondes, un Gyrotron, une ligne de transport, une injection optique dans la source fournie par IAP RAS Nizhny Novgorod
  - 60 GHz / 300 kW / 1 ms pulses / 2 Hz
- Premières expériences réalisées en 2014 mais arrêtée à cause d'un fil métallique présent dans le refroidissement qui a détruit 2 des 4 bobines.
- Le projet a redémarré en 2019 avec de nouveaux fonds de l'IN2P3.



## Find the source!

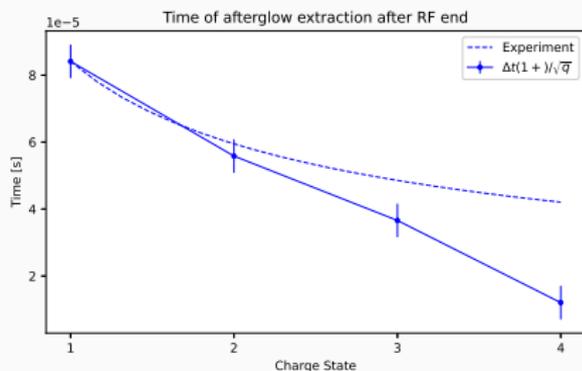
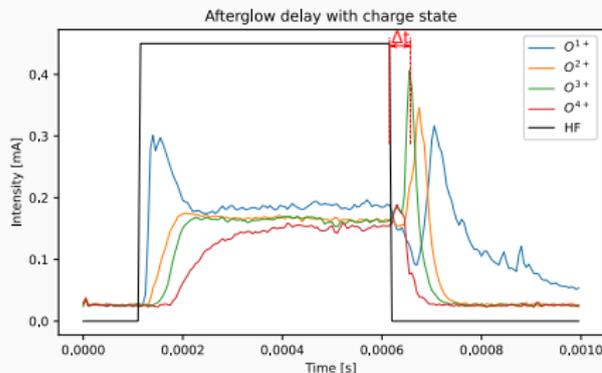


- Électrode d'extraction de 1 mm de diamètre
- Observation de densité de courant jusqu'à  $900 \text{ mA/cm}^2$  (Oxygène)



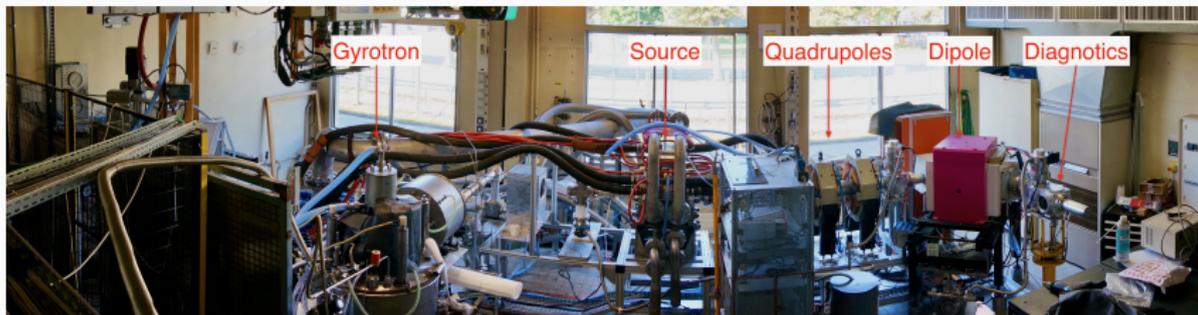


## Les pics d'afterglow ne sont pas synchronisés dans un CUSP



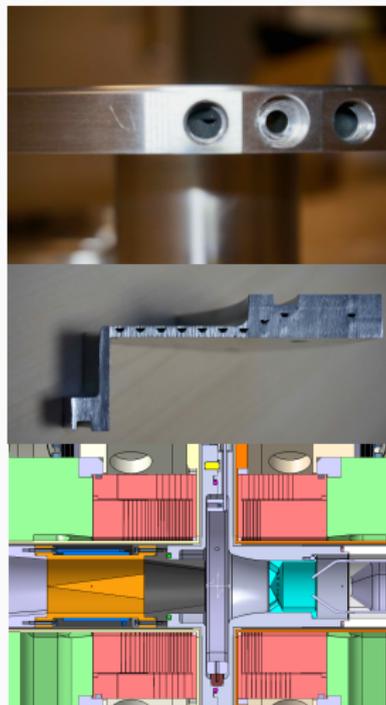
- Le délai de sortie des ions  $\Delta t$  des pics Afterglow ne semble pas provenir d'un champ électrique
- Autres possibilités:
  1. les ions proviennent d'endroits différents.
  2. la température des ions dans le plasma dépend de leur état de charge  $\rightarrow$  leur temps de diffusion est alors différent
- À étudier dans les futures sessions expérimentales

- Les campagnes expérimentales sont prévues en 2021 et 2022
- Améliorer les équipements:
  - Nouvelle chambre à plasma → améliorer le niveau de vide ( $1 \times 10^{-5} \rightarrow 1 \times 10^{-7}$  mbar)
  - Augmenter la gamme de haute tension (30 → 40 kV)
  - Conception d'une nouvelle ligne de transport → ajout d'un triplet de quadrupole et d'un dipole avec une ouverture plus importante (60 → 90 mm) → transmission améliorée
  - Installation d'un pont roulant → optimiser l'implantation de l'expérience

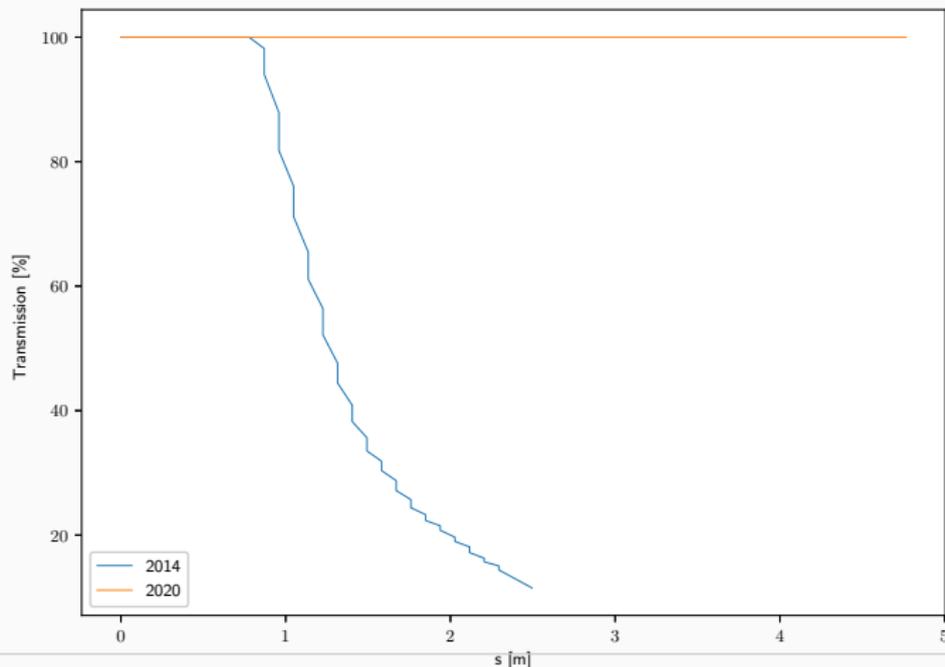


- Reproduire les anciennes données
- Poursuivre les mesures sur les pics afterglow
- Effectuer des mesures systématiques en fonction des paramètres de la source:
  - Champ magnétique, pression, puissance RF, bias disque
- Mesurer l'émittance avec un pepperpot
- Étudier la stabilité du plasma avec des détecteurs appropriés
  - RF, Mesures de rayon X
- Mesurer les distribution d'électrons

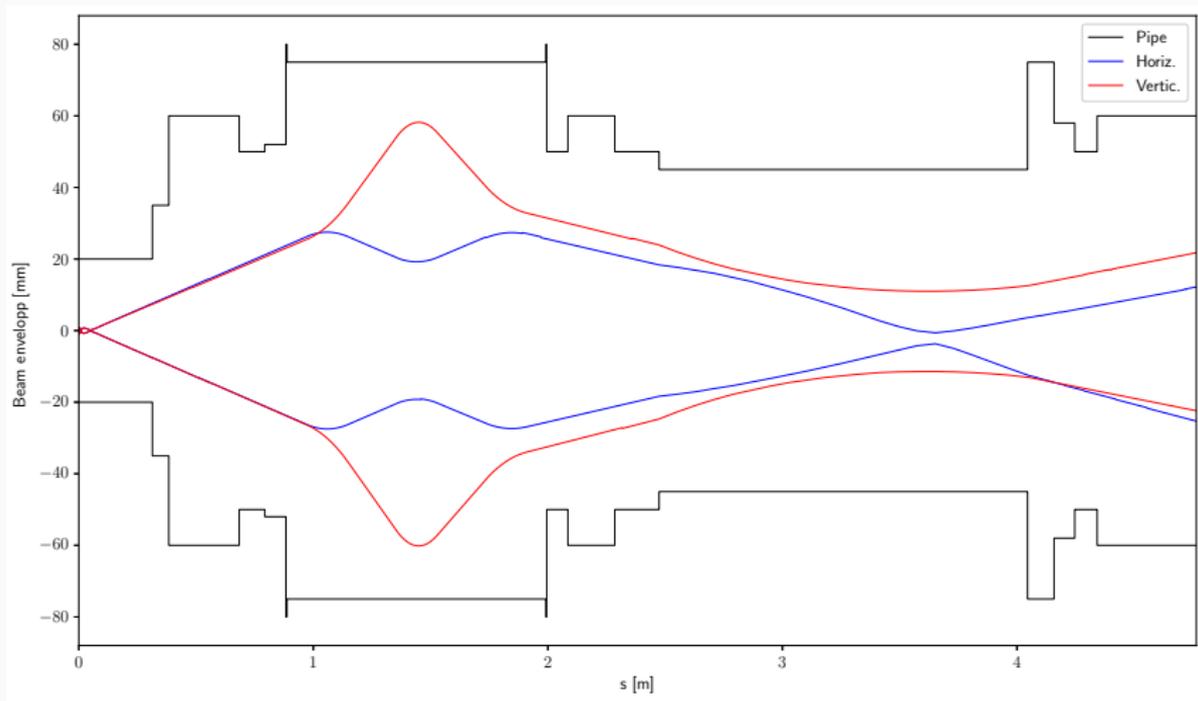
Chambre plasma de la source SEISM  
construite en aluminium par procédé  
additif



- Faible transmission du faisceau en 2014 en raison de la simplicité de la ligne de transport
  - **2014** Pas de focalisation, dipole de faible ouverture → **15 %** de transmission
  - **2021** Avec la nouvelle ligne de transport → **100 %** de transmission théorique



## Enveloppe faisceau calculée pour la nouvelle ligne de transport



## Mesure d'émittance avec un pepperpot

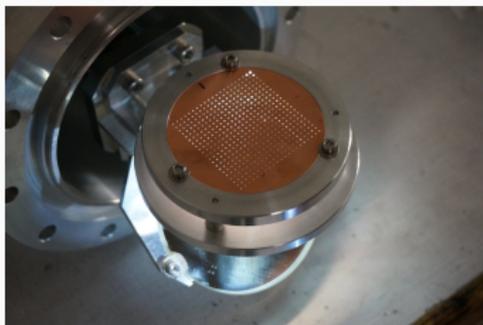
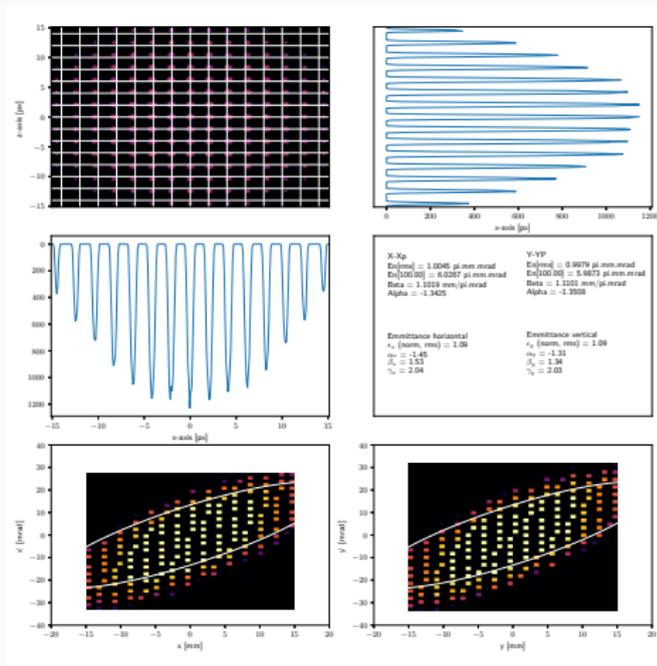


Photo du pepperpot

- plaque en cuivre
  - matrice de 2 mm
  - trous de 0.5 mm de diamètre
- CsI(Na) écran scintillateur
- CCD camera pour l'acquisition
- Image CCD déclenchée par le signal RF

## Script de reconstruction d'émittance



# Nouvelle ligne de transport - Installation du pont roulant



Positionnement du dipole → **Référencement** des axes faisceaux

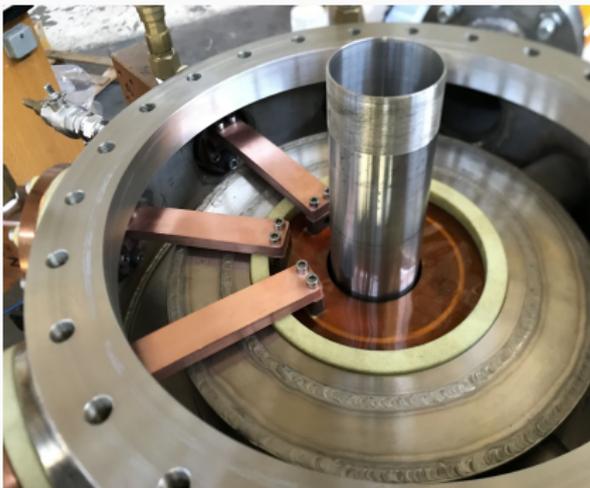


## Alignement des équipements :

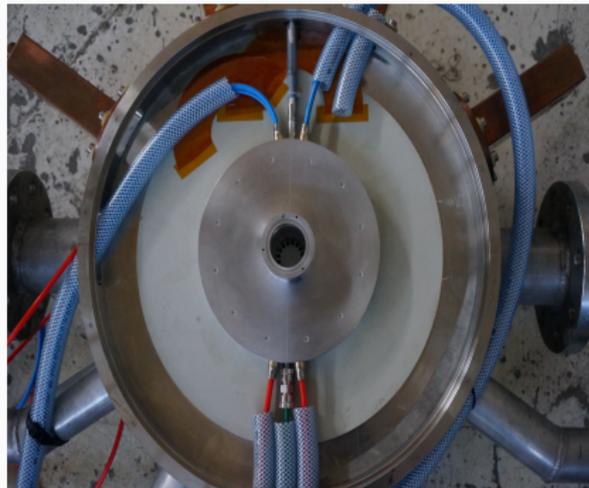
- Theodolite pour l'alignement
- Niveau optique pour ajuster l'altitude



Intérieur des échangeurs



Intérieur de la source



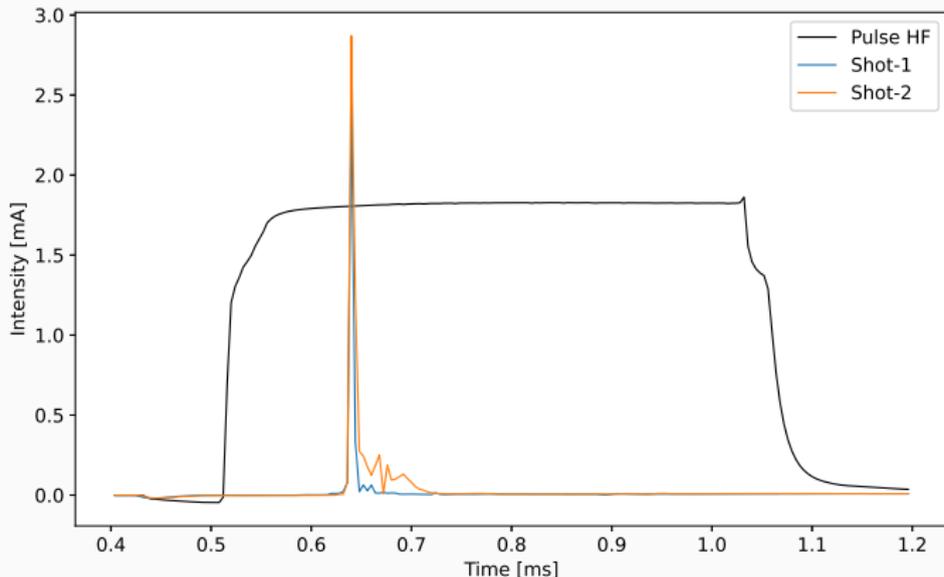


# Nouvelle ligne de transport - Évolution de l'installation





- 1 octobre 2021 : Premiers faisceaux dans la CF source
  - **18000 A** de courant dans les bobines
  - $\approx$  **5kW** de puissance HF
  - **20 kV** de haute tension



## EQUIPEX + PACIFICS :

- Programme de recherche commun CEA / IN2P3 financé par l'ANR en 2020
- WP4 dédié à la R&D des sources d'ions → développement des faisceaux de haute intensité pour les accélérateurs du futurs



- Remplacer les bobines résistives par des supraconductives → Rapatrier la source au LPSC
- Améliorer les alimentations du gyrotron 60 GHz pour obtenir 20 kW - CW
- Ouvrir un programme de RD accélérateurs

## Objectifs :

- Produire  $>100$  mA de faisceau d'ions lourds multichargés.
- Etudier les plasmas RCE à 60 GHz avec des diagnostics
- Etudier l'émission du faisceau et la neutralisation de charge d'espace

- Design du CUSP à finaliser, câble en NbTi @4K considérés
  - Objectif: CUSP fermé avec une surface à 60 GHz avec de larges accès radiaux pour installer des diagnostics
  - Example: Source avec une chambre à plasma de 200 mm de diamètre

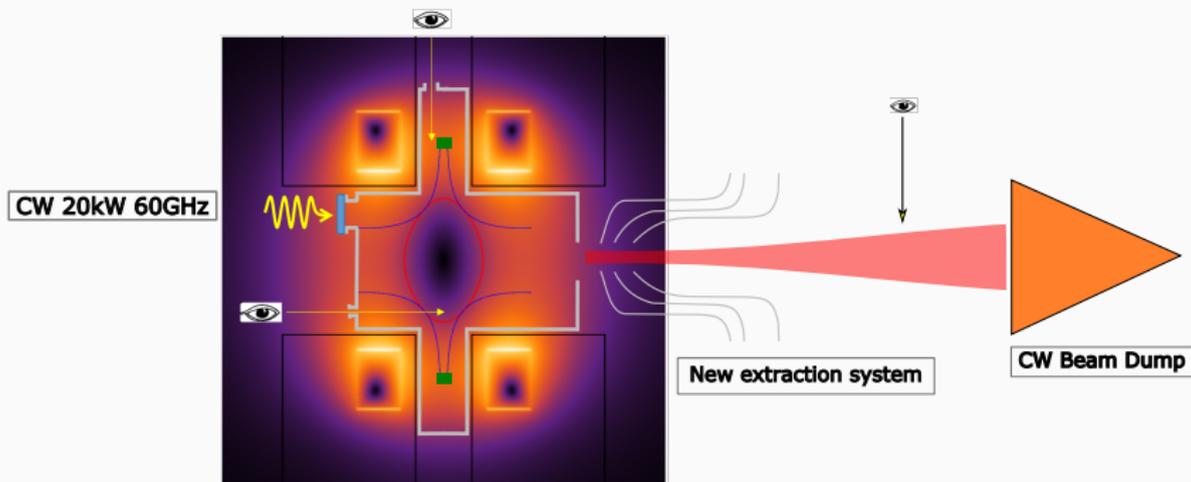


Schéma de principe de l'expérience

**Merci de votre attention**

