



# Situation du développement de la source ASTERICS du projet NEWGAIN

J. Angot<sup>1</sup>, H. Allain<sup>2</sup>, G. Brunet<sup>3</sup>, T. Cadoux<sup>2</sup>, M. Dubois<sup>3</sup>, H. Felice<sup>2</sup>, D. Goupillière<sup>4</sup>, P. Graffin<sup>2</sup>, Q. Hars<sup>1</sup>,  
V. Kleymentov<sup>2</sup>, M. Kusulja<sup>1</sup>, E. Lagorio<sup>1</sup>, F. Lemagnen<sup>3</sup>, D. Simon<sup>2</sup>, A. Sinanna<sup>2</sup>, P. Sole<sup>1</sup>, T. Thuillier<sup>1</sup>,  
R. Touzery<sup>2</sup>, S. Trieste<sup>2</sup>, A. Trudel<sup>3</sup>, R. Vallcorba Carbonnel<sup>2</sup>, F. Vezzu<sup>1</sup>



1. LPSC, 2. CEA Irfu, 3. GANIL, 4. LPC

## Journée du GDR SCIPAC

Saclay, le 18/12/24

## Le projet NEWGAIN

- Motivations
- Le nouvel injecteur
- Le lot de tâche « Source d'ions et plateforme HT »

## Sources ECR pour les nuls

## Spécifications pour la source ASTERICS et réponse au besoin

## Avancées du projet

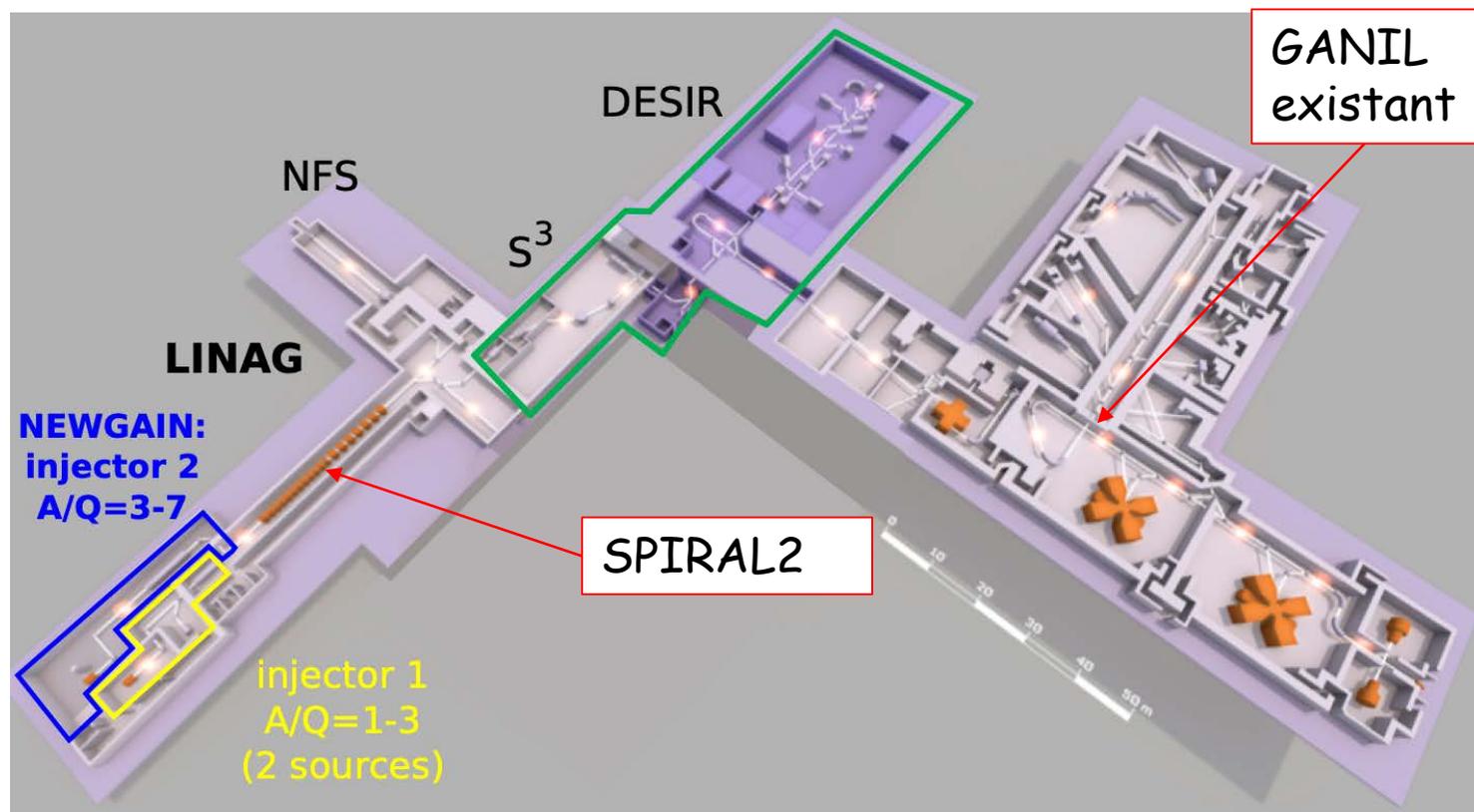
## Planning projet



## NEW GANil INjector : un nouvel injecteur d'ions pour SPIRAL2 avec $A/Q=7$

- Etendre les intensités fournies par l'injecteur  $A/Q=3$  au-delà des masses  $A \sim 60-80$ 
  - Physique "SHE" et "N=Z" avec les reactions fusion-evaporation, expérience S3
- Anticiper des études de physique ultérieures avec U
  - Mécanique de réaction deep-inelastic, fusion-fission et fusion-evaporation en cinématique inverse.

**Financement ANR-Equipex+ acquis**



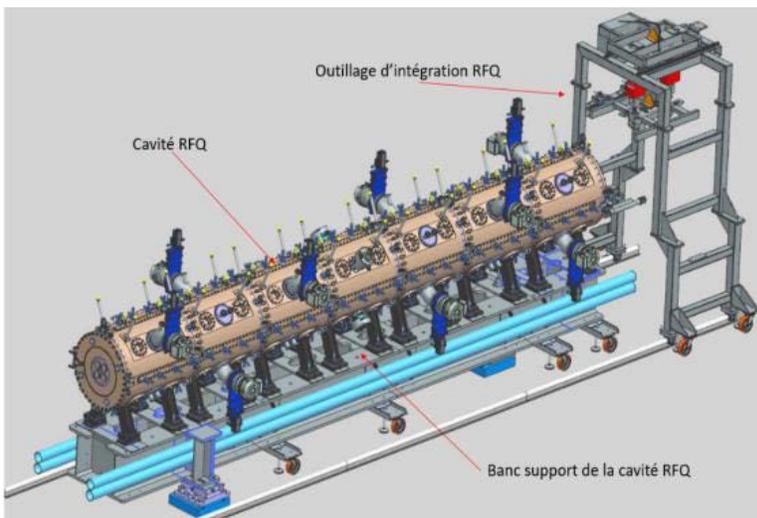
## Composition de l'injecteur

- Source + Plateforme HT
- LBE
- RFQ 10 keV/A
- LME

## Interconnexion avec LBE1 existante

- Injection d'ions depuis la source  $A/Q=3$  (PHOENIX V3)

## Fonctionnement simultané des 2 injecteurs



Modèle 3D RFQ, CEA



## Collaboration multi-laboratoire

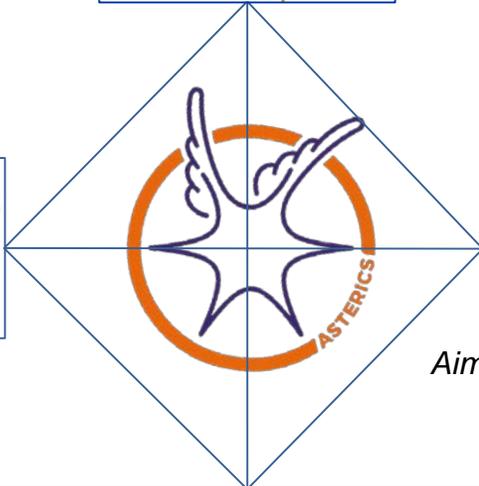
- De nombreuses interfaces internes et externes
- Intégration dans la salle déjà exploitée délicate



Source hors aimant,  
coordination



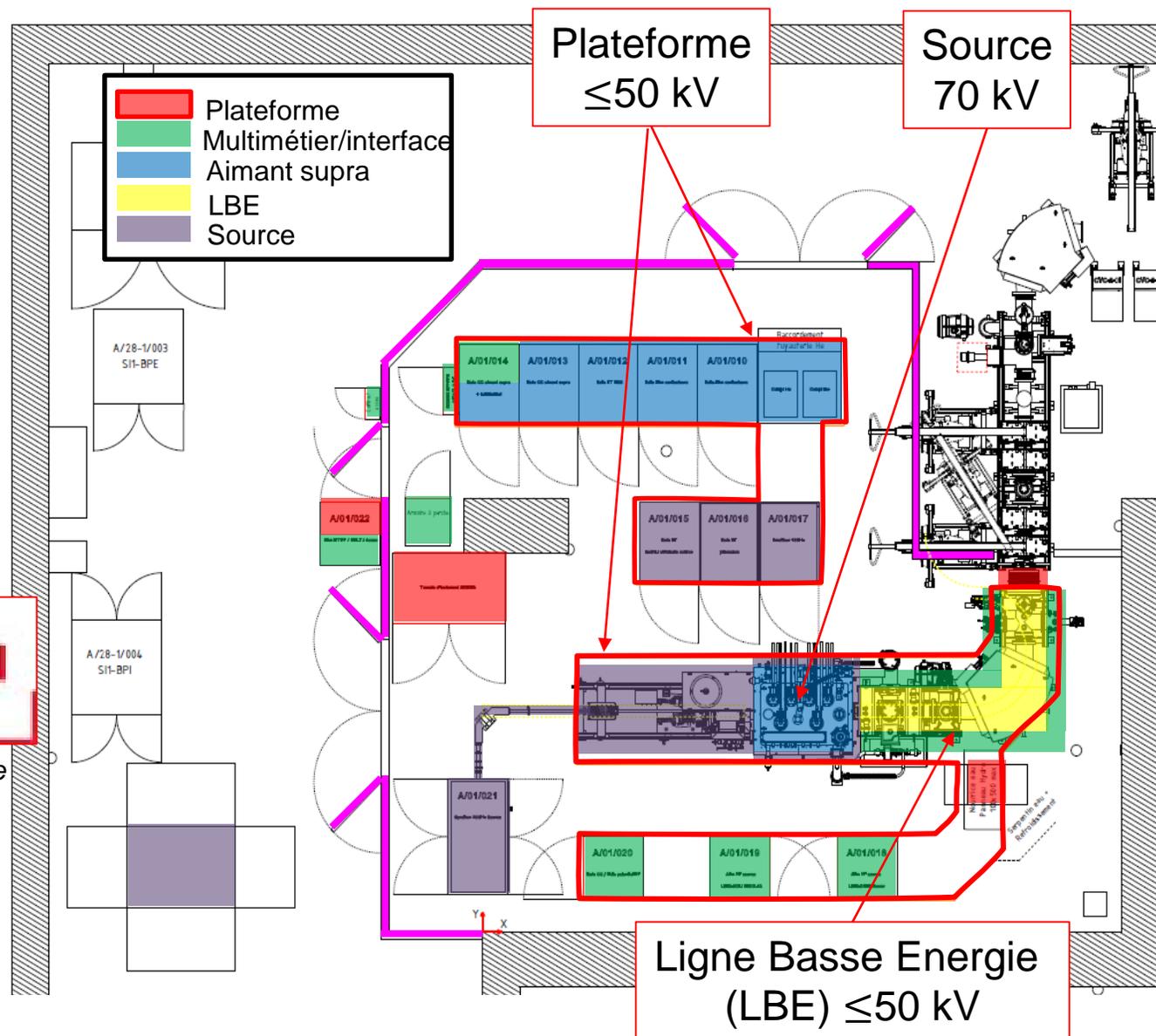
Plateforme HT



Aimant, Cryostat, Satellite

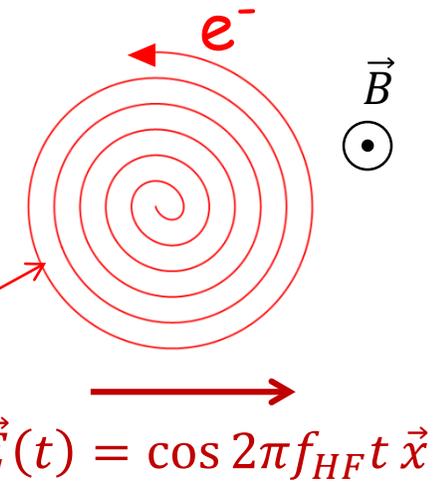


laboratoire commun CEA/DRF spirat2 CNRS/IN2P3  
Expertise, LBE, Extraction des ions

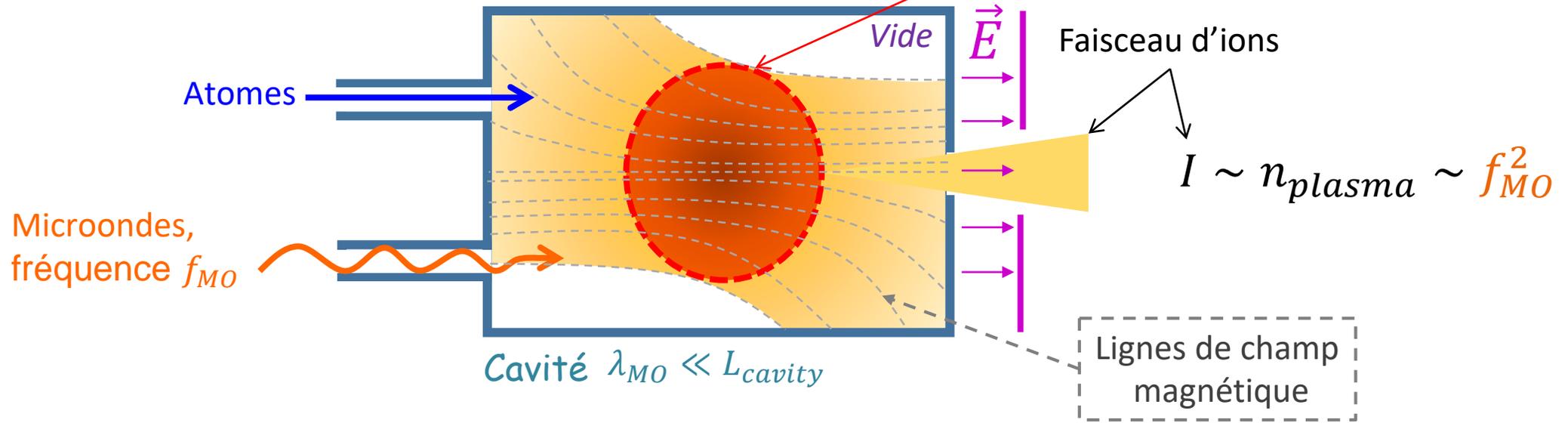


- Système d'injection d'atomes pour maintenir la densité du plasma constante
- Vide secondaire pour conserver la production d'ions multichargés ( $10^{-6}$ - $10^{-7}$  mbar)
- Injection de **puissance micro-onde** (MO,  $f_{MO}$ ) dans une cavité (multimode)
- Structure magnétique pour Confiner les ions et électrons du plasma
- **Résonance Cyclotronique Electronique**
  - Les électrons sont accélérés en traversant la surface fermée ECR
- **Champ électrique** pour accélérer les ions hors du plasma
- L'intensité des ions varie avec le carré de la fréquence  $f_{MO}^2$

Trajectoire de l'électron



$$f_{MO} = \frac{eB}{2\pi m_e} = f_{ce}$$

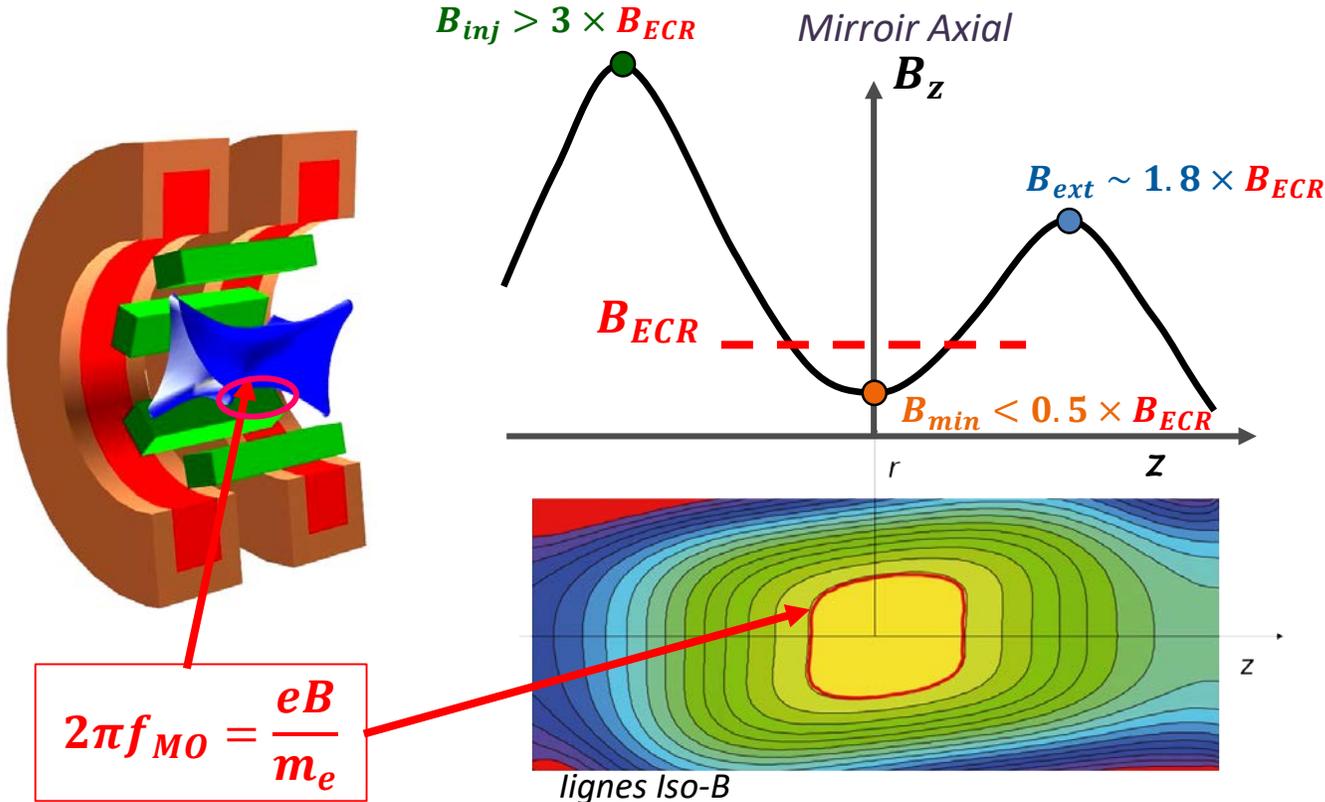


Superposition d'un miroir magnétique axial et radial hexapolaire

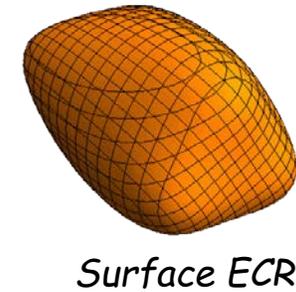
- La surface ECR ( $|B|=B_{ECR}$ ) est fermée
- « Minimum-B », « bouteille magnétique »

Loi magnétique: intensité des pics de champs définis par rapport à  $B_{ECR}$

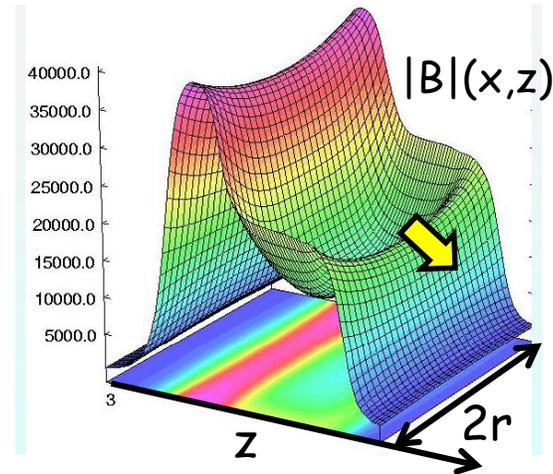
$$I \sim n_{plasma} \sim f_{MO}^2 \sim B_{ECR}^2$$



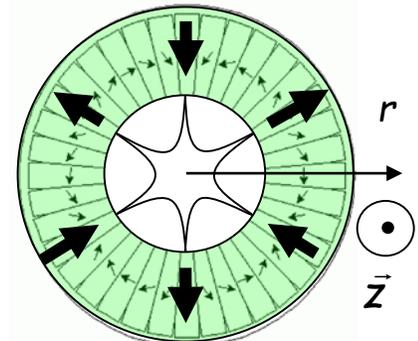
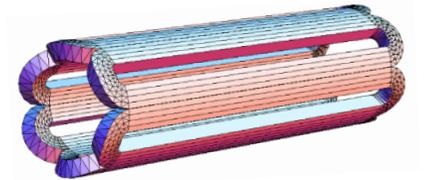
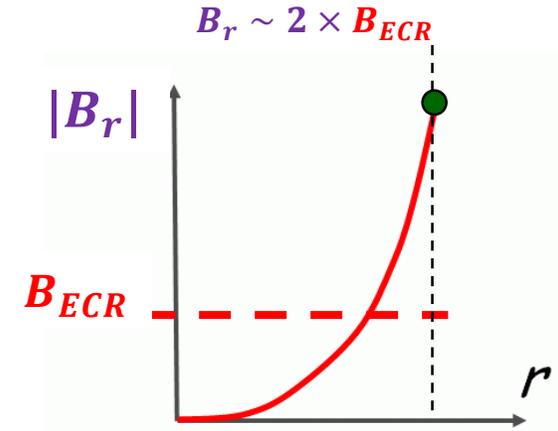
$$2\pi f_{MO} = \frac{eB}{m_e}$$



Surface ECR



hexapole



## Besoin en faisceau d'ions métalliques avec $A/Q=7$

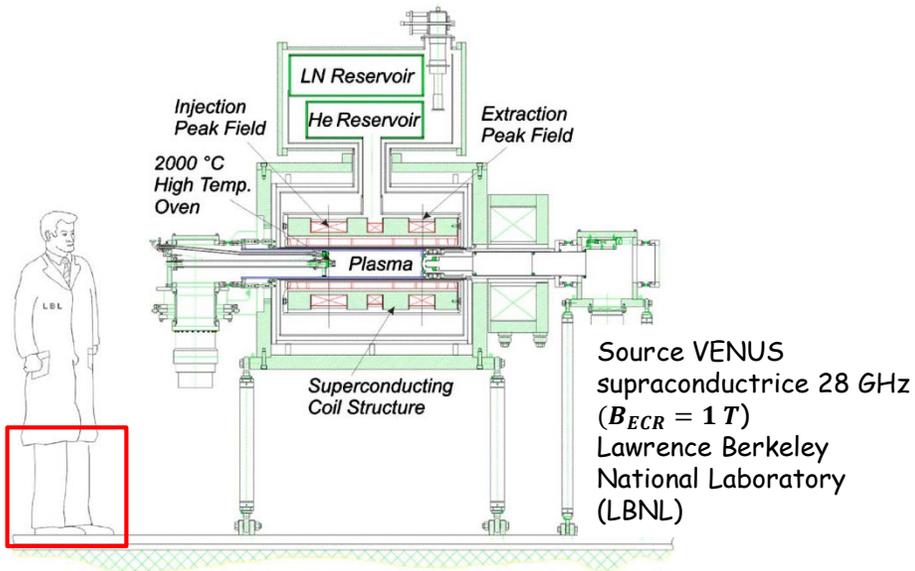
(1)  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{50}\text{Ti}$ ,  $^{54}\text{Cr}$ ,  $^{50}\text{Cr}$ ,  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{70}\text{Zn}$  jusqu'à  $15 \mu\text{A}$

(2) Xe, Pb, Bi and U  $\geq 6 - 10 \mu\text{A}$

Risque projet pour la source à minimiser

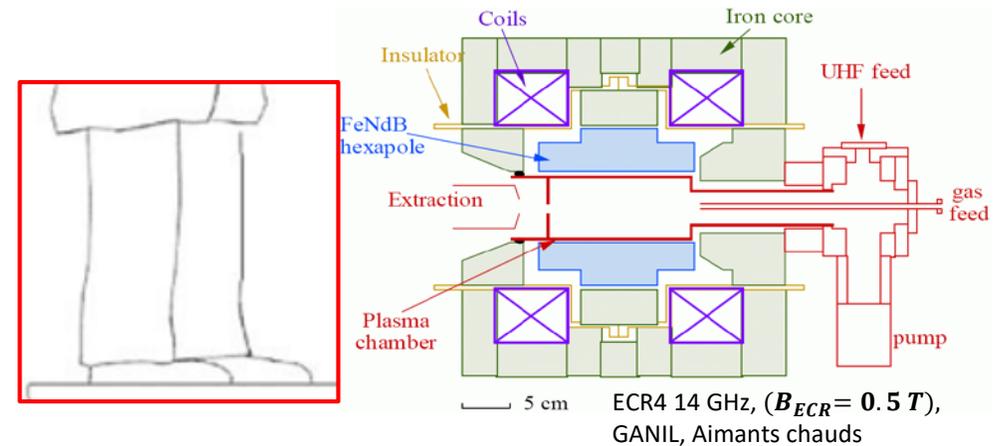
Que dit l'état de l'art des sources d'ions?

### Source « supra » 28 GHz



(1) OK (2)  $\sim 5-6 \mu\text{A}$  en run long, 10 pas OK

### Source « chaude » 14-18 GHz

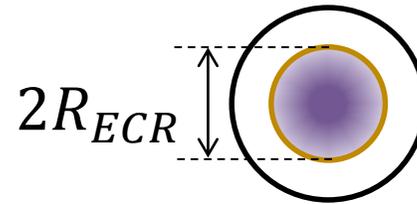
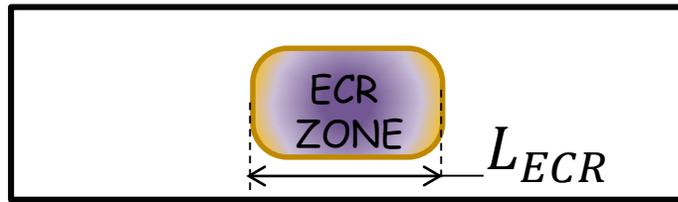


(1) OK (2) pas OK

## Analyse des spécifications :

Besoin d'une source d'ions supraconductrice à 28 GHz  
au-delà des performances actuelles

Mais comment faire une nouvelle source  
supra plus performante, tout en contrôlant le  
risque du projet?



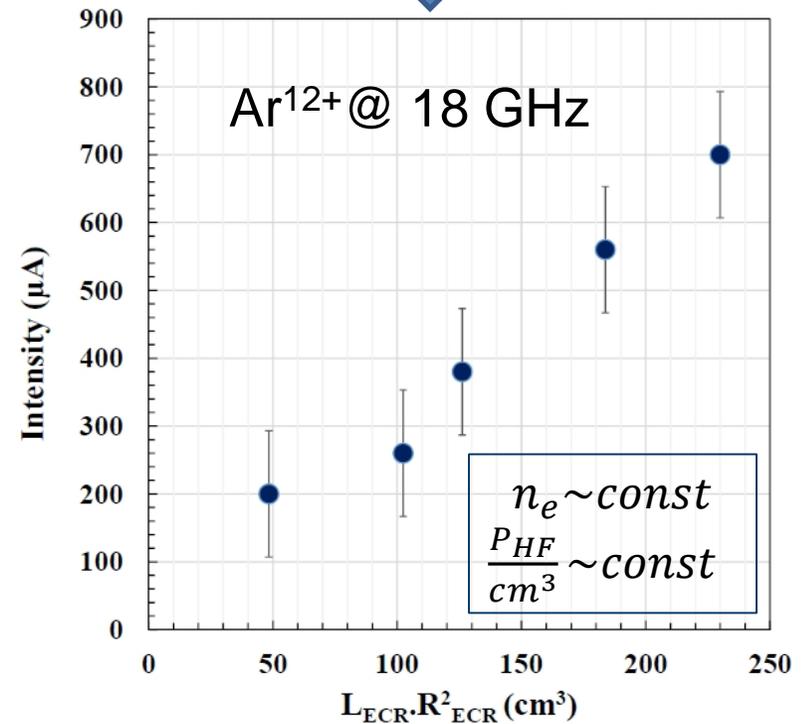
Loi d'échelle ECR:  
 $I(\text{ions}) \sim n_e \sim f_{ecr}^2$

flux d'ions  
proportionnel au  
volume zone ECR  
@  $f_{ecr}=28$  GHz

flux d'ions  
proportionnel au  
volume zone ECR  
@  $f_{ecr}=18$  GHz

**Choix de développer une source  
d'ions @ 28 GHz  
De grand volume**

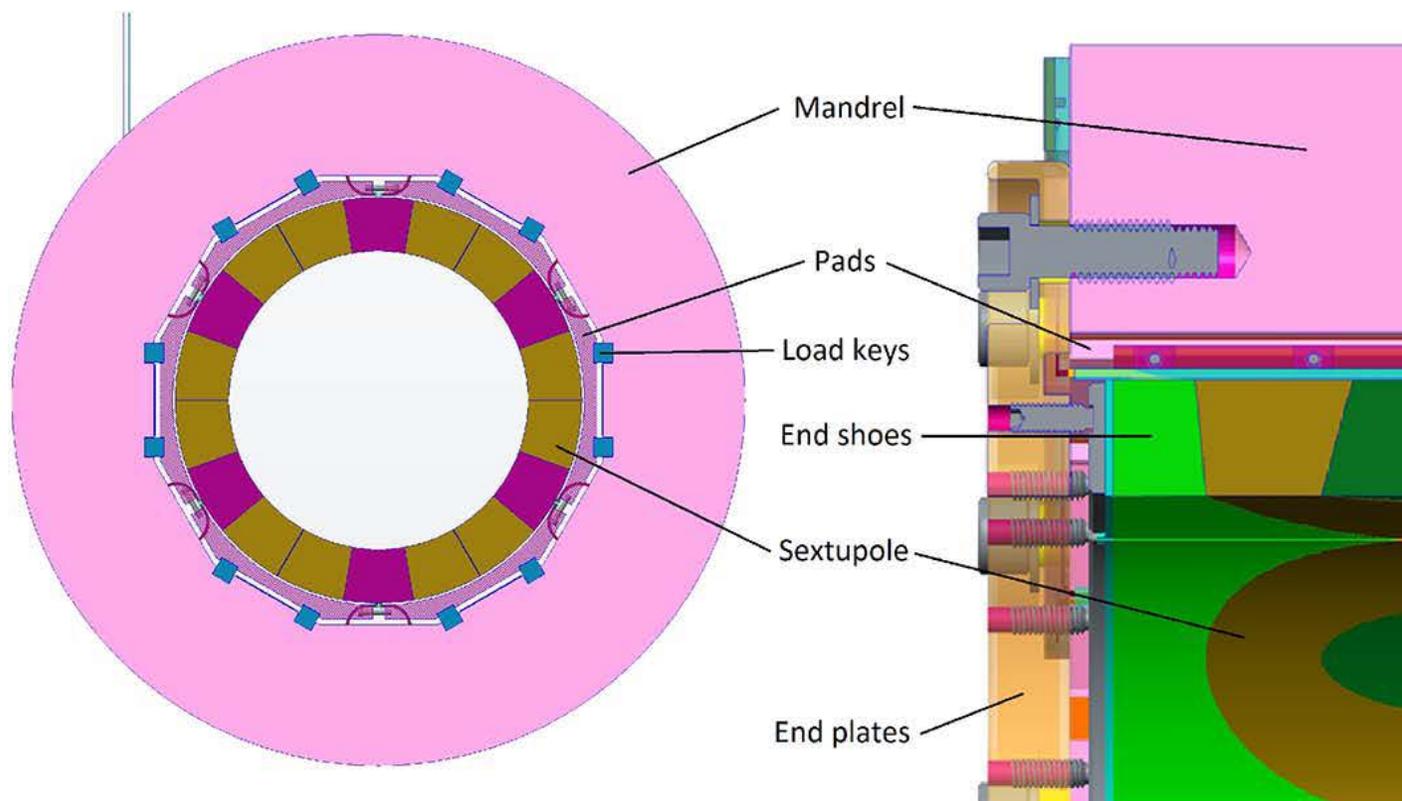
Analyse  
phénoménologique  
Multi-source @ 18 GHz



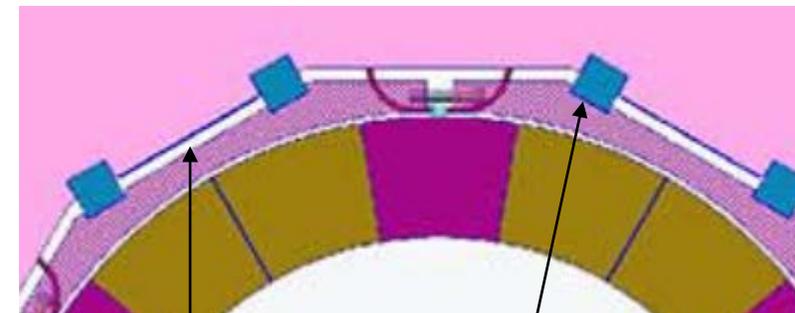
## Etude de l'aimant dirigée par le CEA DACM

Augmenter le volume en faisant une homothétie d'un aimant de source existant opérationnel : la Source VENUS FRIB et sa technologie « bladders and keys »

- Réglage des pré-contraintes mécaniques appliquées aux bobines
- Remplacement individuel possible d'une bobine d'hexapole



Aimant VENUS FRIB



Logement  
Pour un « bladder »

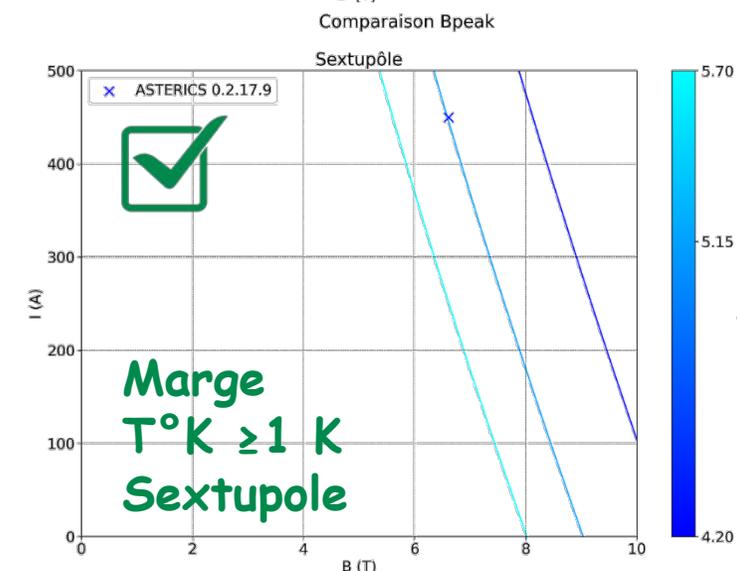
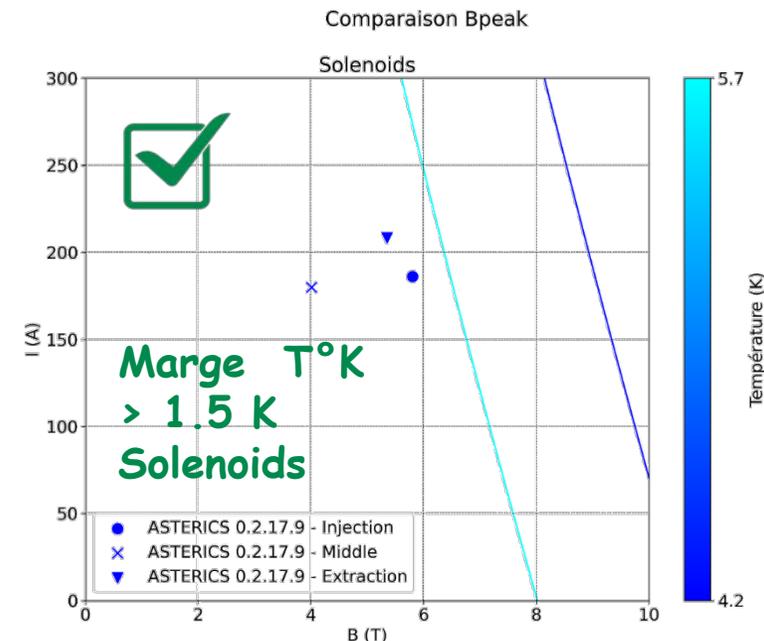
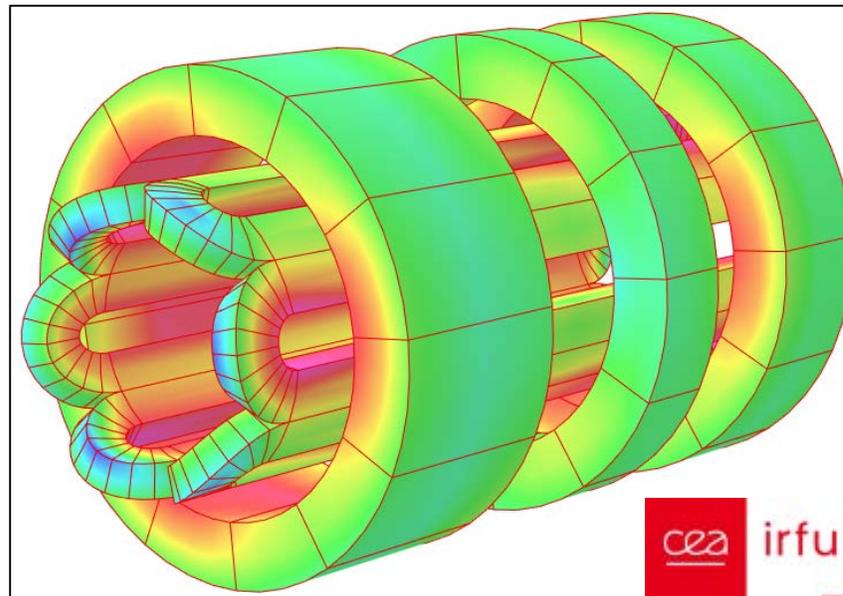
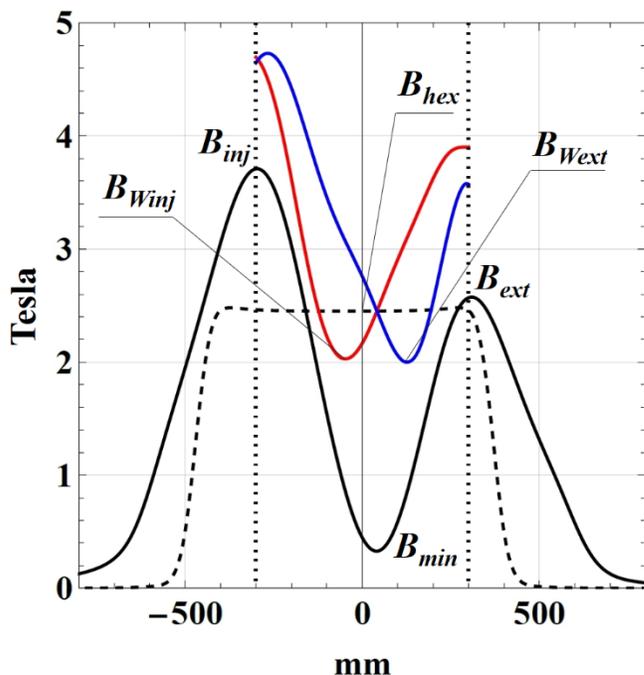


Mise sous pression

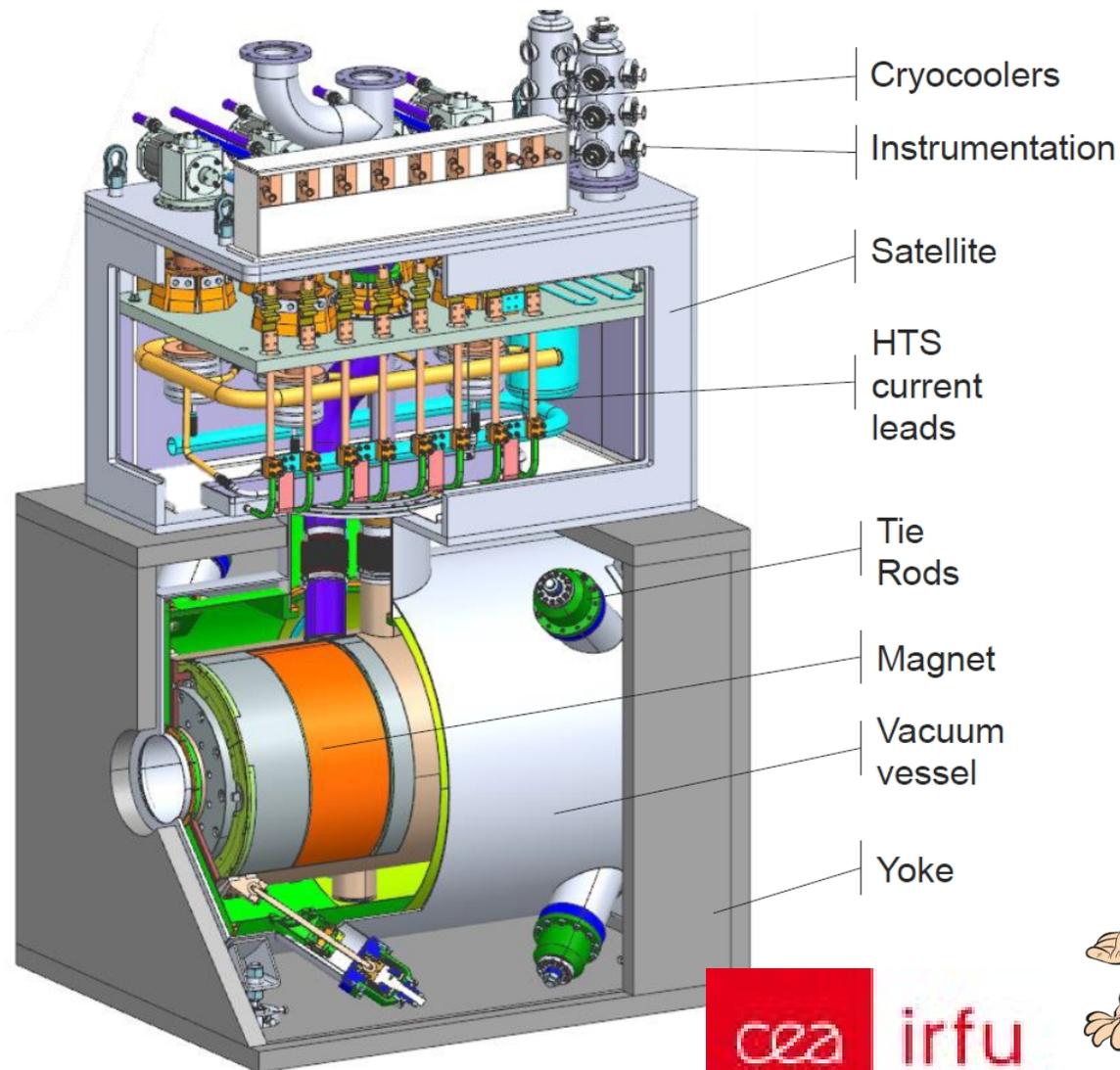
## Technologie « Sextupole in Solenoid »

- Dernière iso-B fermée 2 T (+0.15 T/VENUS)
- Cable supraconducteur Nb-Ti

| B <sub>PEAK</sub> and Temperature Margin |           |            |            |            |
|--|-----------|------------|------------|------------|
|  | Sextupole | Solen. INJ | Solen. MID | Solen. EXT |
| B <sub>peak</sub> (T)*                   | 6.75      | 5.73       | 4.12       | 5.33       |
| Current (A)                              | 428       | 175        | -179       | 190        |
| Temperature margin (K)**                 | 1.11      | 1.81       | 2.59       | 1.95       |



| Paramètre                     | Valeur            | VS VENUS     |
|-------------------------------|-------------------|--------------|
| ECR frequency                 | 28 GHz            |              |
| Max Axial Mirror Peak Field   | 3.7 – 0.1 – 2.5 T |              |
| Radial Peak Field             | 2.55 T            |              |
| Chamber length                | 600 mm            | <b>+20%</b>  |
| Chamber radius                | 91 mm             | <b>+20%</b>  |
| Chamber volume                | 15.6 liter        | <b>+100%</b> |
| ECR Length @ $B_{\min}=0.3$ T | 220 mm            | <b>+20%</b>  |
| ECR volume @ $B_{\min}=0.3$ T | 1.9 liter         | <b>+66%</b>  |
| Cooling power@ 4.2 K          | 10.8 W            |              |
| SC Cable                      | Nb-Ti             |              |



## Fabrication maquette bobine hexapole de type racetrack à Saclay

- Acquérir de l'expérience

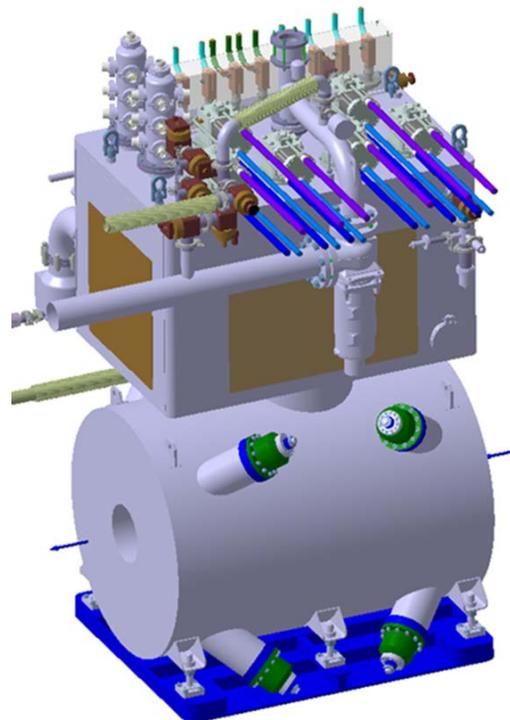
## Cable supradoncuteur Nb-Ti livré par FURUKAWA (JPN)

- 43 km pour les solénoïdes
- 20 km pour l'hexapole

## Appel d'offre aimant clos le 2/12/24

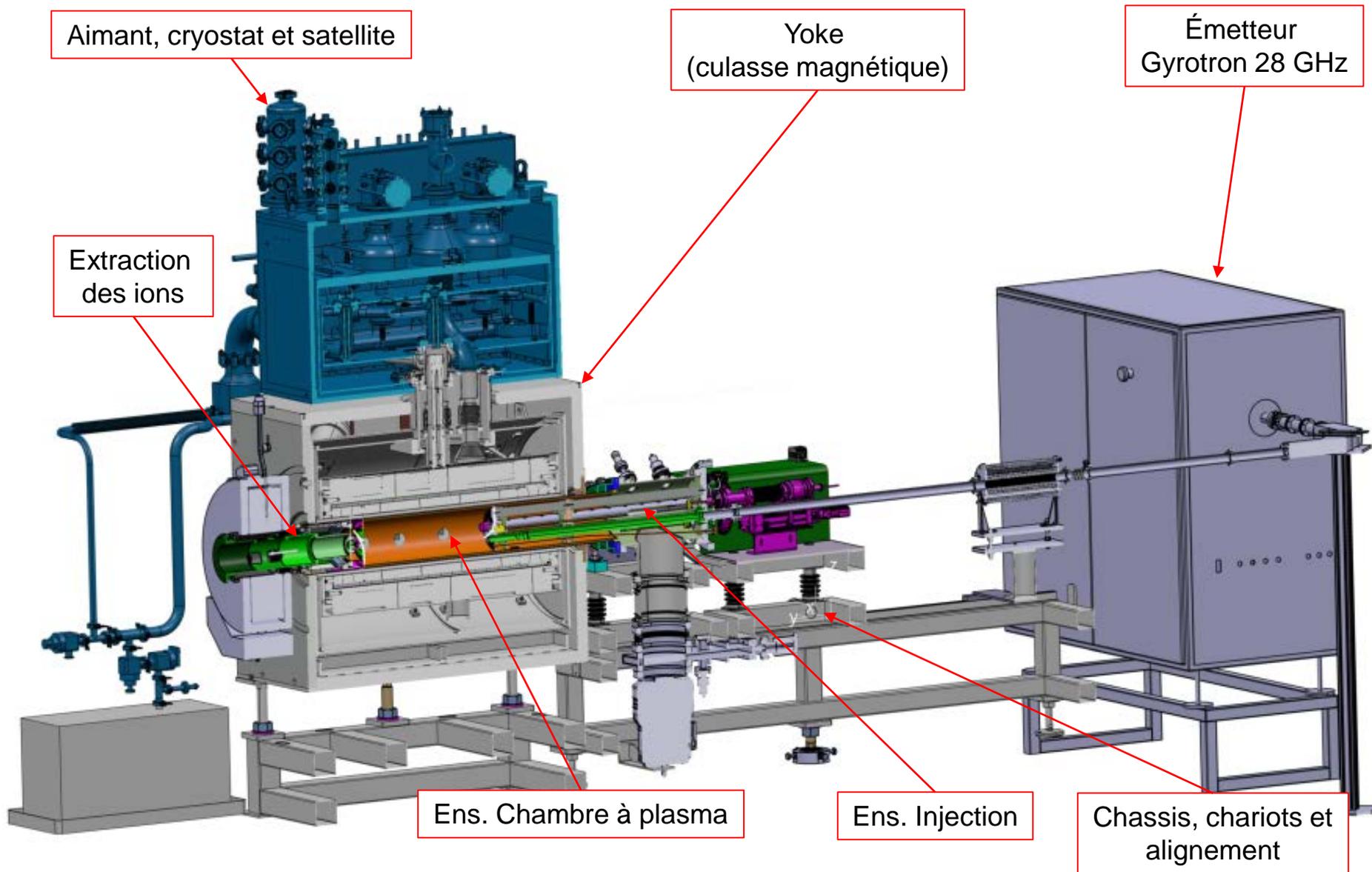
- AO jugé infructueux=> phase de négociation directe avec les 3 candidats (Bilfinger, Sigmaphi, ASG)

*Racetrack coil built for practising at CEA in 2023*



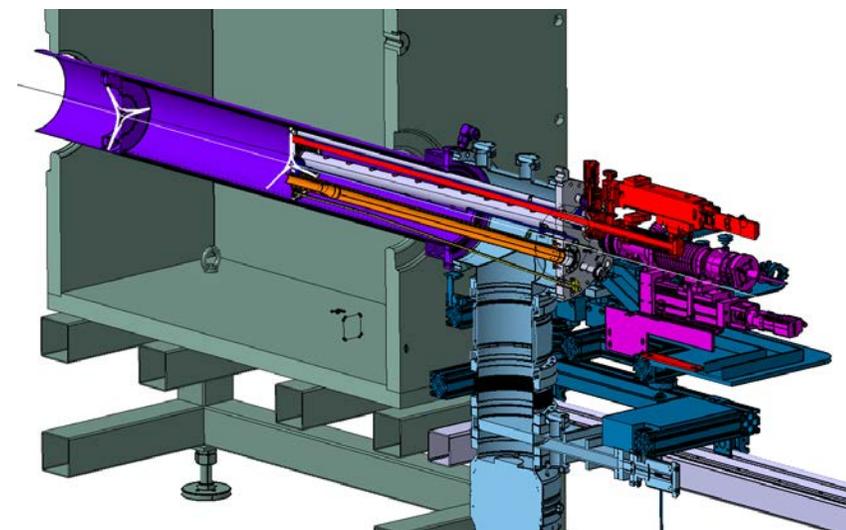
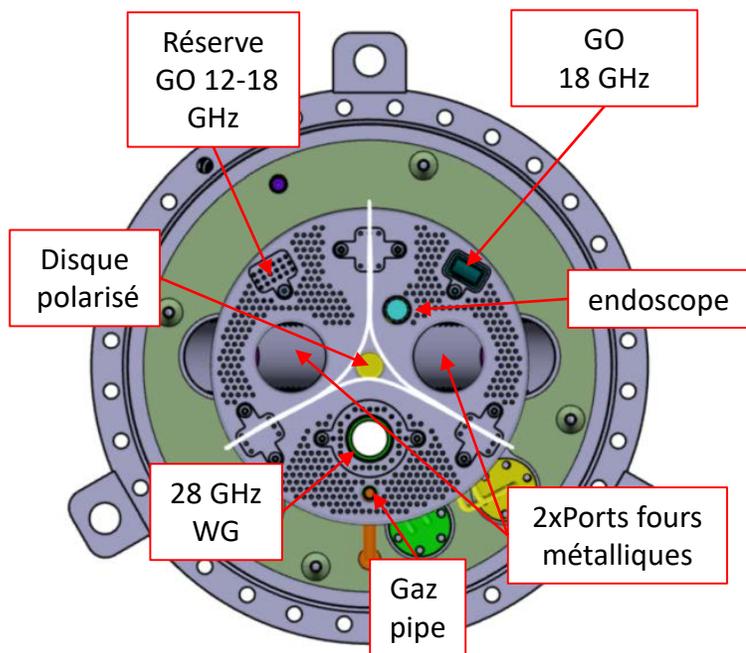
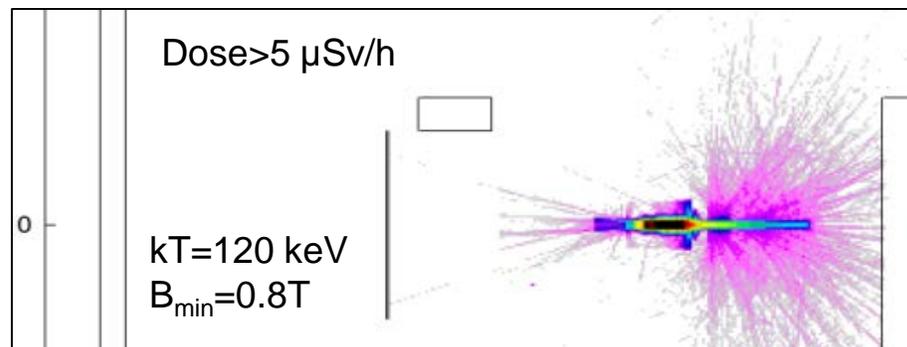
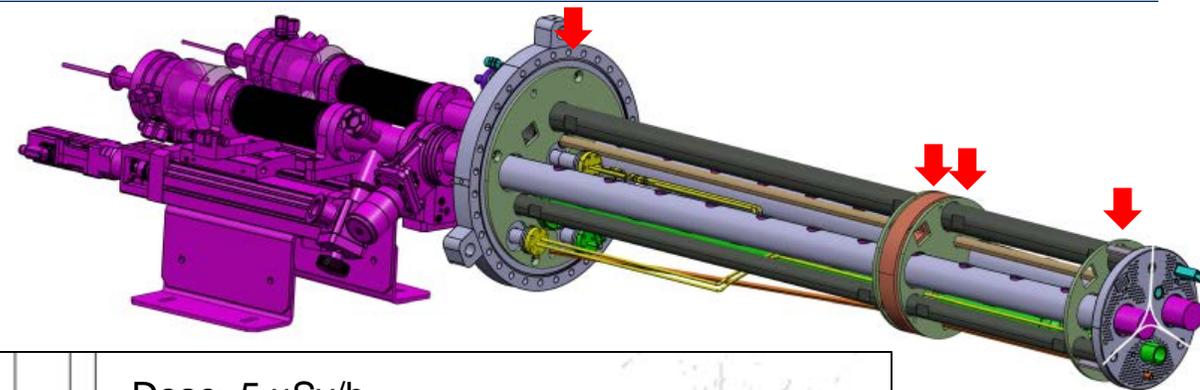
## Phase de consolidation CAO

- Fin APD fin 2025



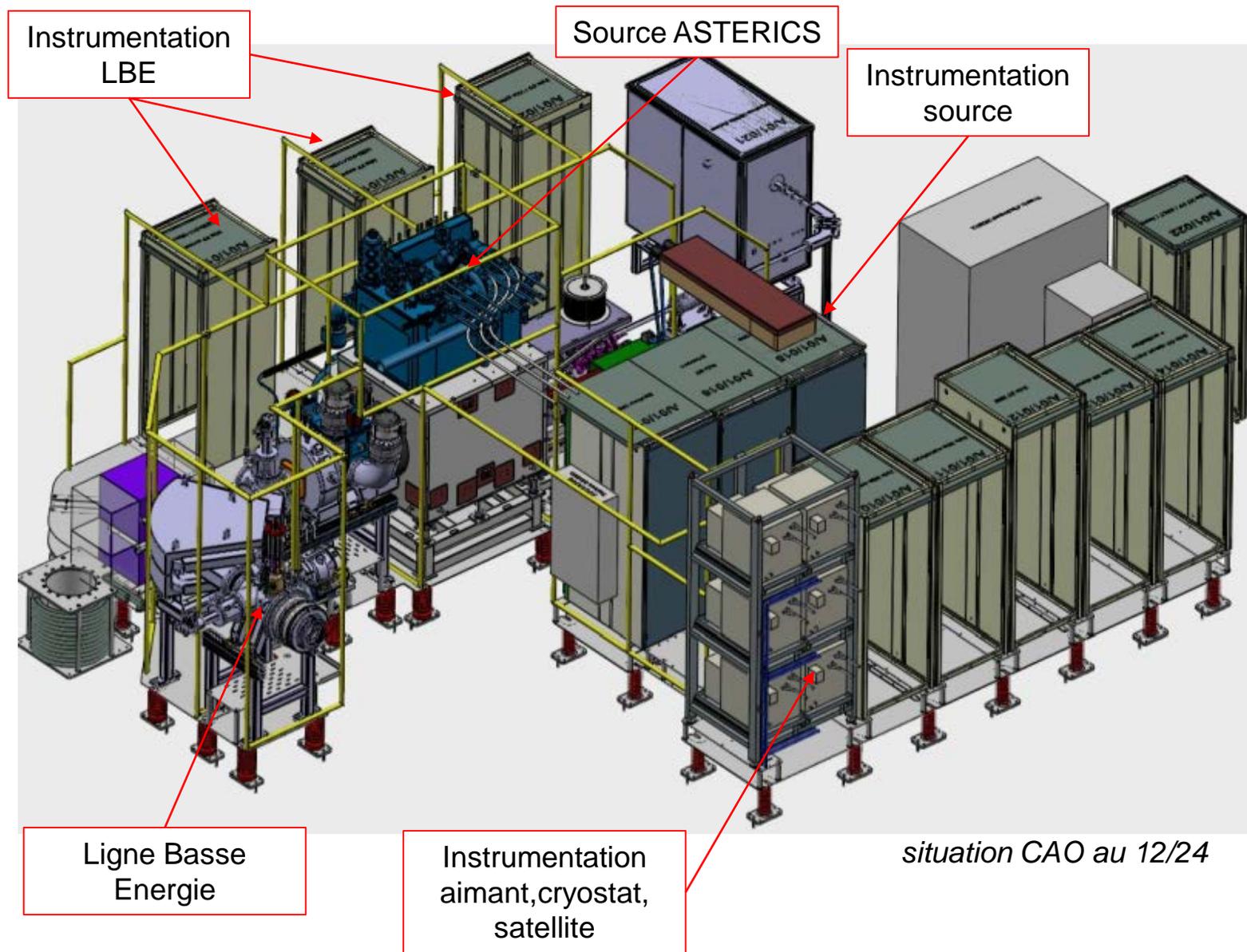
## Ensemble injection

- Ajout de 4 plaques de 5 mm de tungstène pour casse le flux d’X émis par le plasma
- 2 ports pour fours métalliques DN35 pour des runs longs de physique
- 1 port pour endoscope (surveillance du plasma)



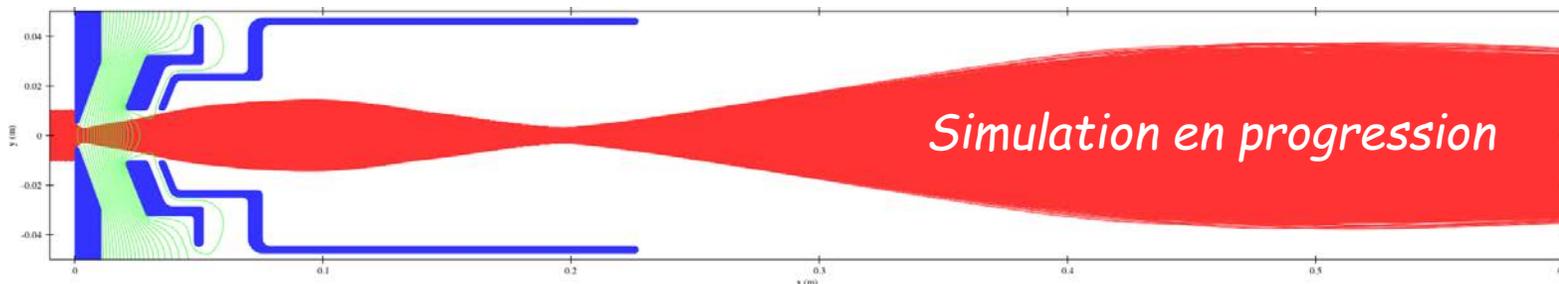
## Phase APD

- Implantation au sol validée
- Circulation et accès figés
- CAO en cours
- Fin APD ~fin 2025

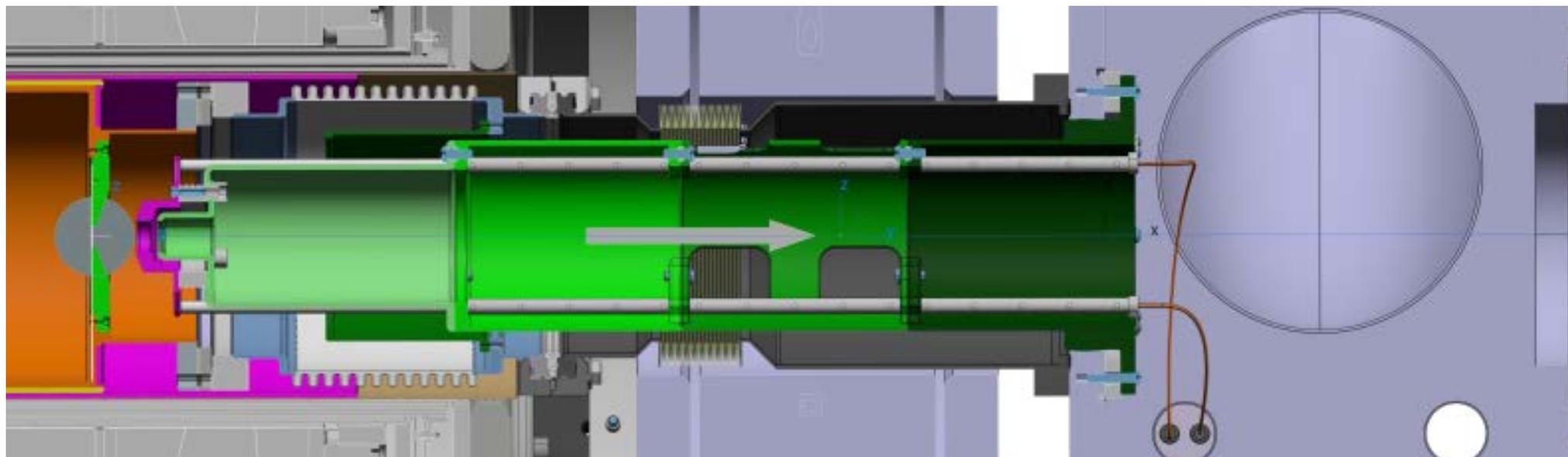


## Simulation extraction des ions en cours

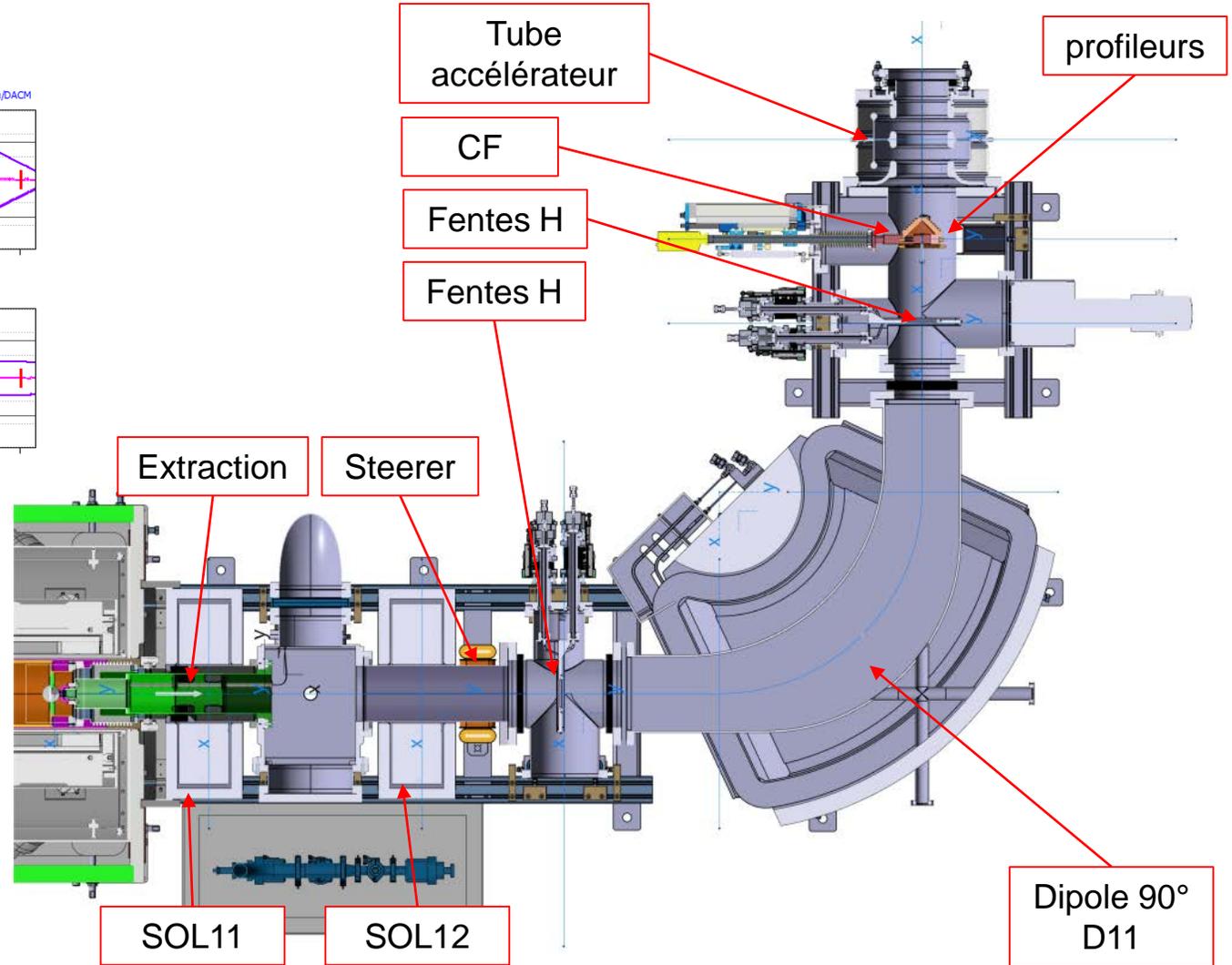
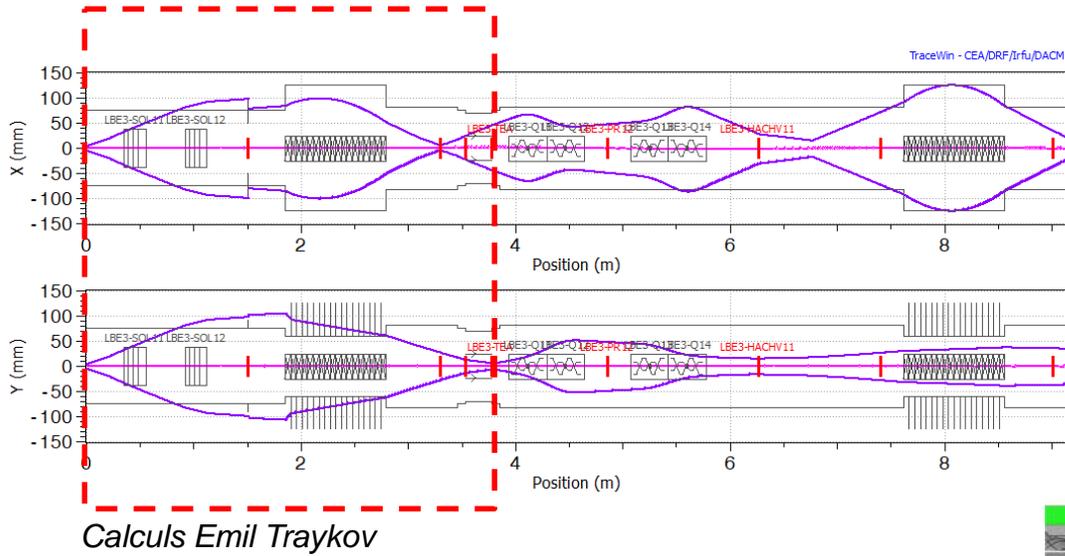
- Etude paramétrique de la géométrie pour minimiser l'émittance du faisceau avec IBSIMU



## CAO en cours de consolidation



## CAO en cours de consolidation



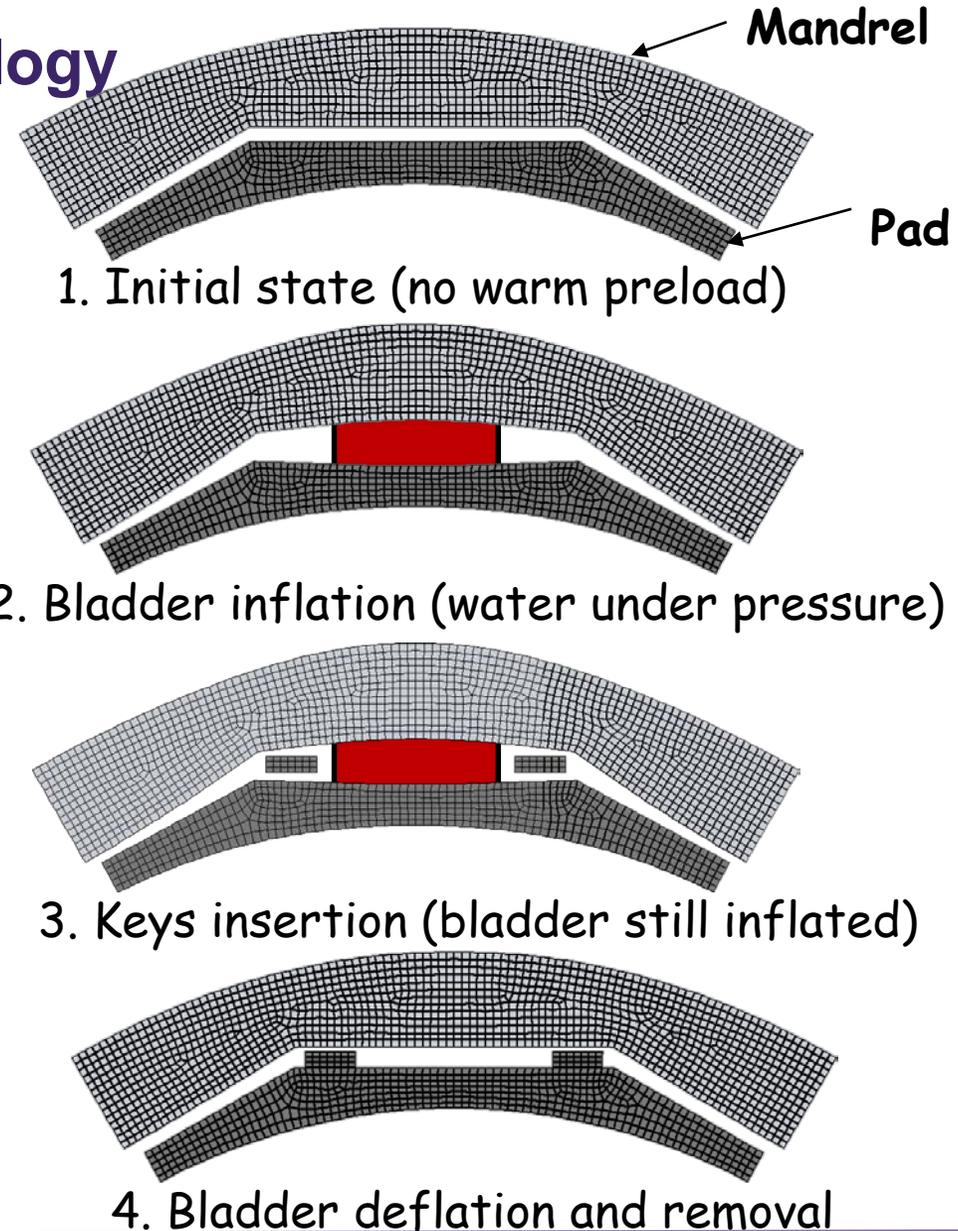
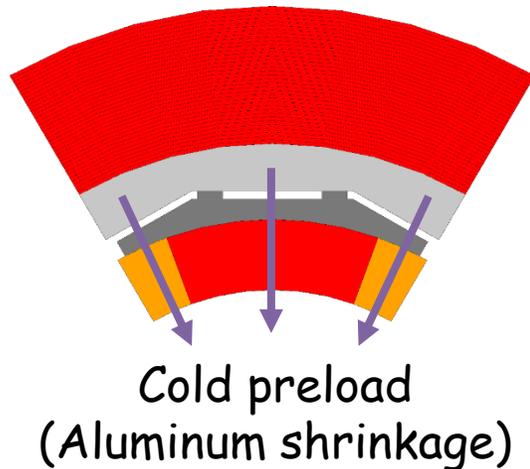
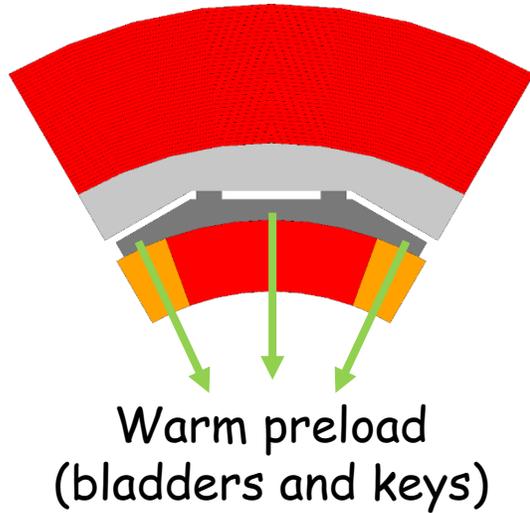


MERCI POUR VOTRE ATTENTION



# RESERVE

▪ **Bladders and keys technology**

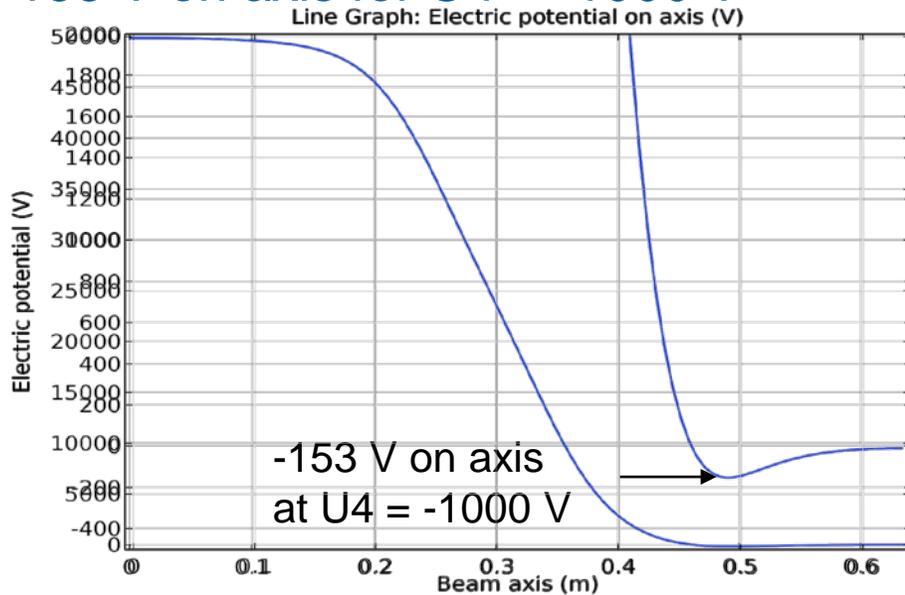


## Goals

- Maximum transmission (large diameter)
- Uniform transverse electric field gradient
- Avoid electrical breakdowns
- Stop secondary electrons (-50 V on axis)

## Electrostatic simulations

- Max. field value 14 kV/cm
- -153 V on axis for U4 = -1000 V



Selected beam  
e.g.  $^{238}\text{U}^{34+}$

U1 = 50 kV  
U2 = 25 kV  
U3 = ground  
U4 = -1000 V

Calculs, Emil Traykov

Electric field map

