

Le projet FRIENDS³

Fast Radioactive Ion Extraction and Neutralization Device for S³

Vladimir Manea
IJCLab, Orsay, France



ANR-21-CE31-0001

- Contexte scientifique
- Technology readiness levels (TRL)
 - Etat de l'art
 - Projet FRIENDS³
- Calendrier du projet
- Développements et résultats récents
- Conclusions

LINAC beams for S³ : He to U
E < 14,5 MeV/A (A/Q=3)
E < 7,5 MeV/A (A/Q=7)

Super Separator Spectrometer (S³)



Présentation Thomas Thuillier
mercredi

NEWGAIN
NEW GANIL INJECTOR

- ☐ Production d'ions radioactifs par des réactions de fusion-évaporation

KU LEUVEN

ijc Lab
Irène Joliot-Curie

lpc
loos

GANIL

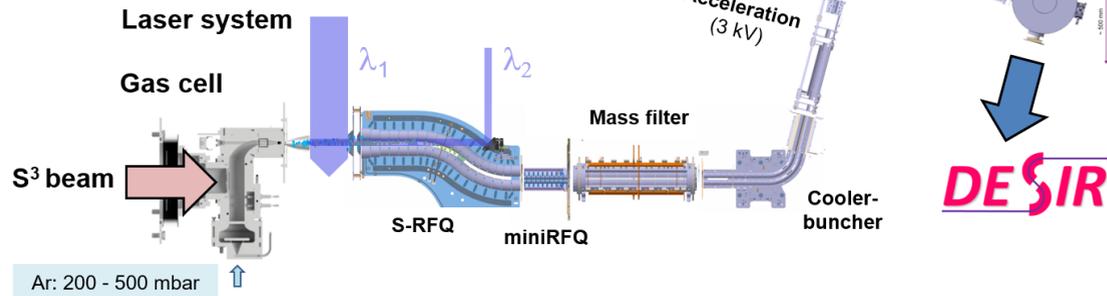
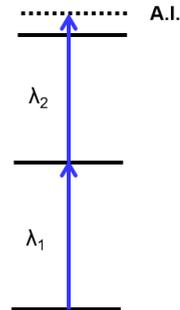
LARISSA

UNIVERSITY OF WISCONSIN

UNIVERSITY OF JYVASKYLÄ

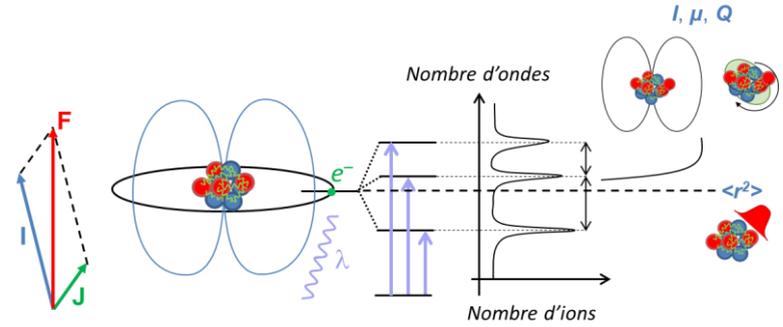
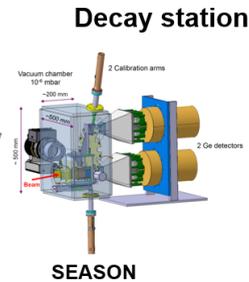
- ❑ **Spectroscopie laser par ionisation résonnante** en jet supersonique
- ❑ Détection aidée par l'identification de masse ou d'énergie de décroissance

A. Zadornaya et al., PRX 8 (2018) 041008



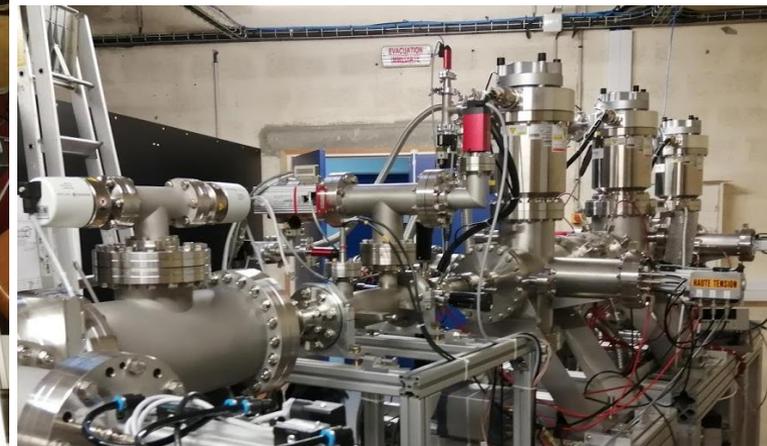
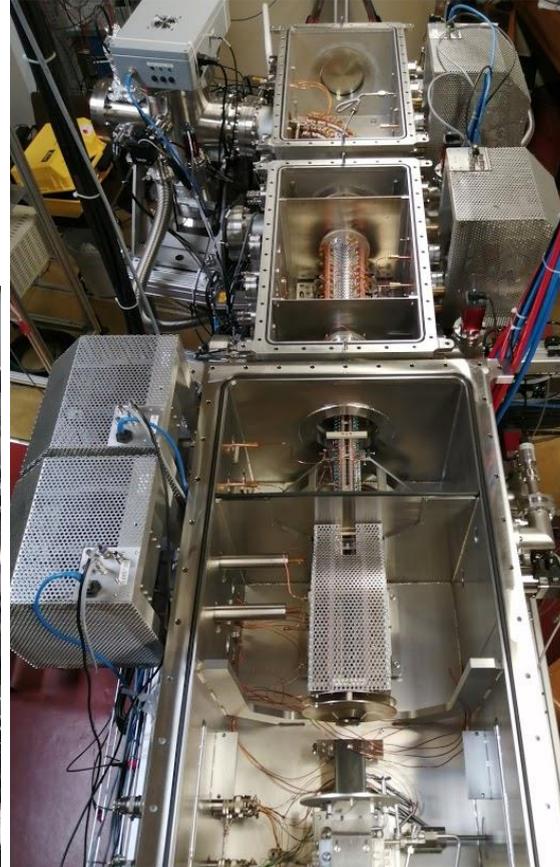
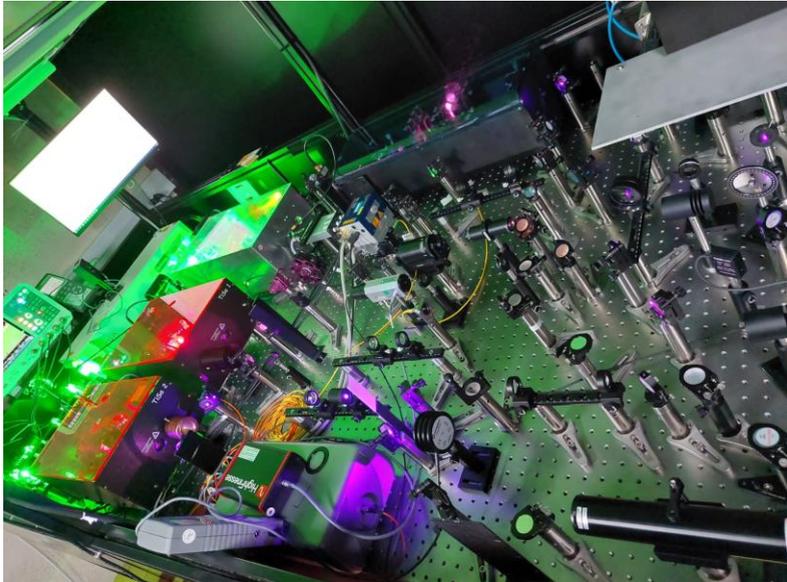
DE SIR

- ❑ Détermination des **propriétés électromagnétiques** fondamentales du noyau atomique

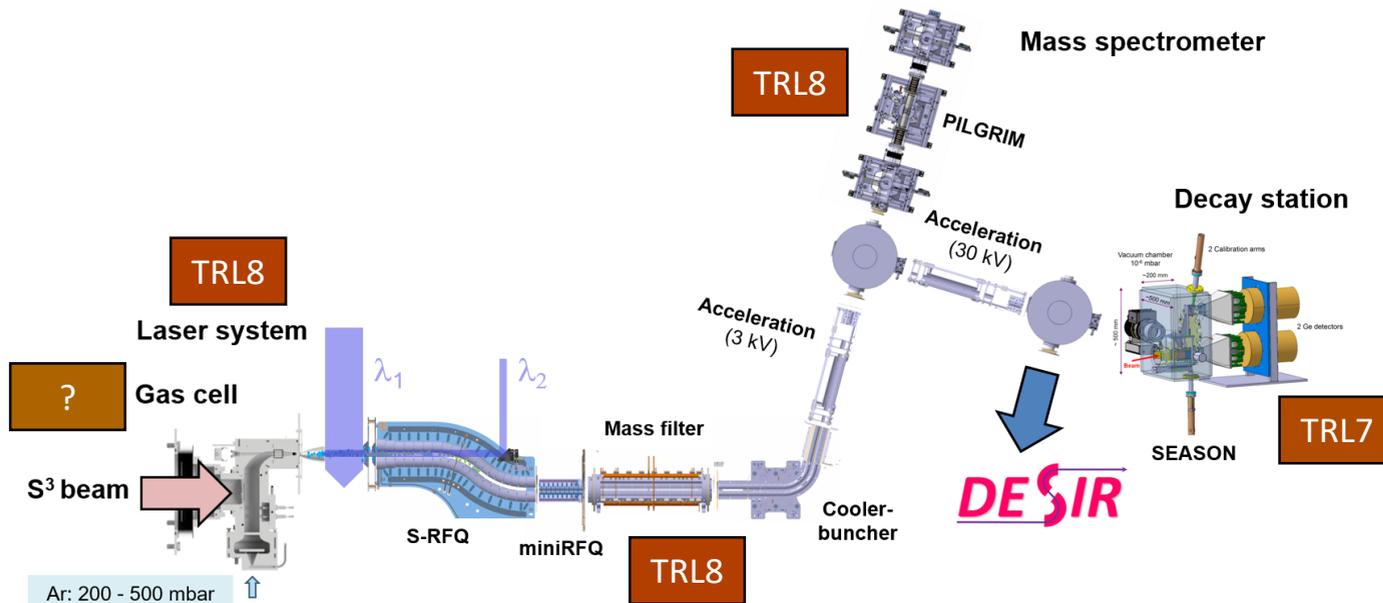


R. Ferrer et al., Nucl. Instr. Meth. B 317, 570-581 (2013)
J. Romans, et al., Atoms 10, 21 (2022)
A. Ajayakumar et al., NIMB 539, 102-107 (2023)

- ❑ S³-LEB a été assemblé et testé au LPC Caen.
- ❑ Installation en 2024 au point focal de S³.
- ❑ Premières expériences à l'horizon 2025.



❑ Tous les sous-systèmes ont un TRL haut, avec un point d'interrogation sur la cellule à gaz.

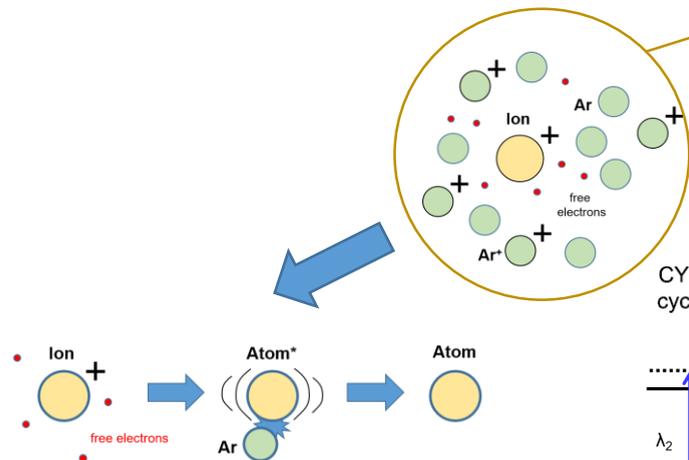


- TRL1 • Basic principles observed
- TRL2 • Technology concept formulated
- TRL3 • Experimental proof of concept
- TRL4 • Technology validated in lab
- TRL5 • Technology validated in relevant environment
- TRL6 • Technology demonstrated in relevant environment
- TRL7 • System prototype demonstration in operational environment
- TRL8 • System complete and qualified
- TRL9 • Actual system proven in operational environment

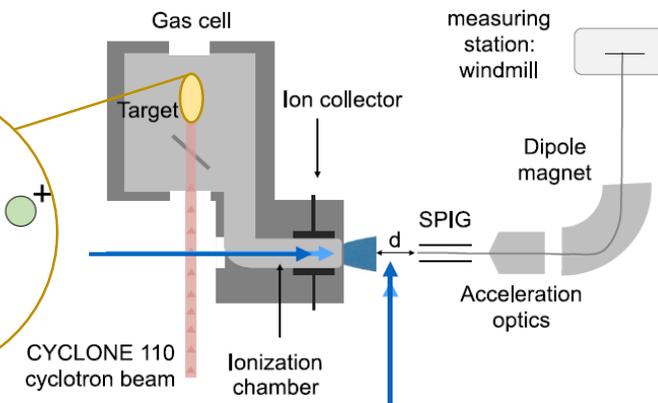
Relevant environment = cellule à gaz
 Operational environment = sous faisceau radioactif

☐ Preuve de principe à Louvain la Neuve

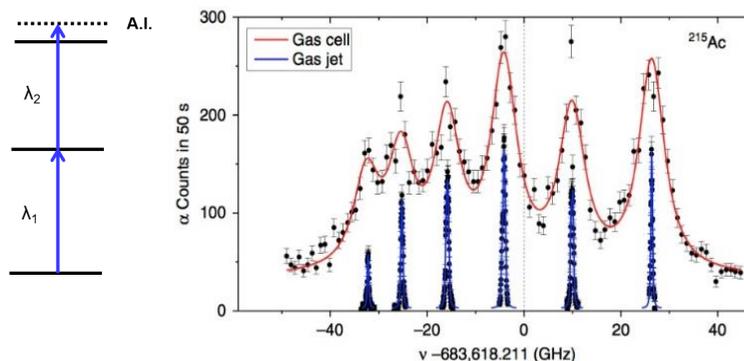
☐ Le faisceau primaire très intense génère un plasma dans la gas cell



☐ Dans le plasma, des processus de recombinaison neutralisent les ions radioactifs



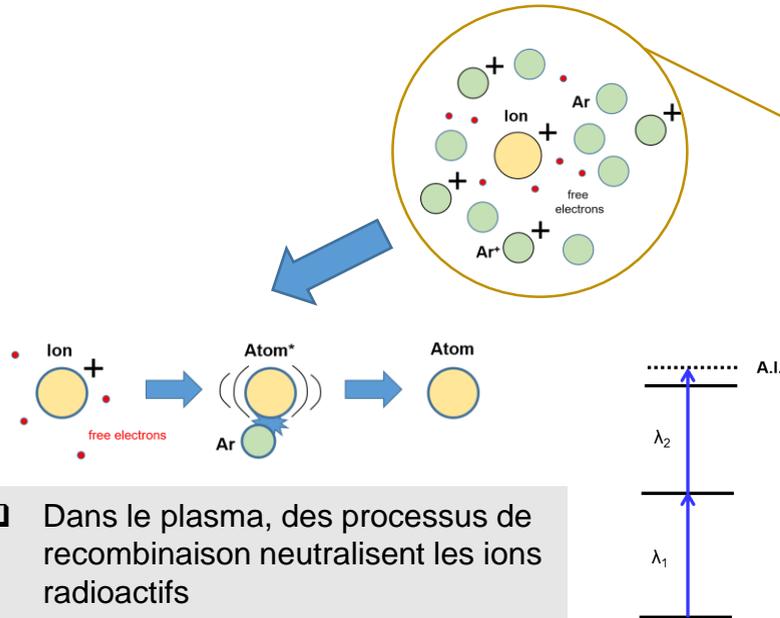
TRL9



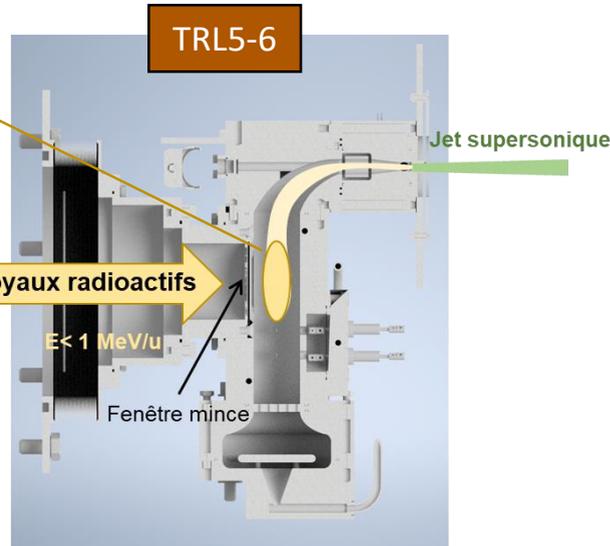
- TRL1 • Basic principles observed
- TRL2 • Technology concept formulated
- TRL3 • Experimental proof of concept
- TRL4 • Technology validated in lab
- TRL5 • Technology validated in relevant environment
- TRL6 • Technology demonstrated in relevant environment
- TRL7 • System prototype demonstration in operational environment
- TRL8 • System complete and qualified
- TRL9 • Actual system proven in operational environment

☐ Le faisceau **secondaire intense (ou non)** génère un plasma dans la gas cell

☐ L'efficacité de neutralisation dépend de l'intensité du faisceau d'ions radioactifs

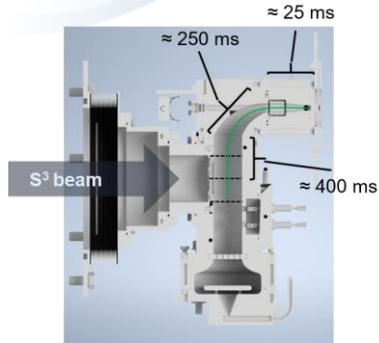


☐ Dans le plasma, des processus de recombinaison neutralisent les ions radioactifs



- TRL1 • Basic principles observed
- TRL2 • Technology concept formulated
- TRL3 • Experimental proof of concept
- TRL4 • Technology validated in lab
- TRL5 • Technology validated in relevant environment
- TRL6 • Technology demonstrated in relevant environment
- TRL7 • System prototype demonstration in operational environment
- TRL8 • System complete and qualified
- TRL9 • Actual system proven in operational environment

Relevant environment = cellule à gaz
Operational environment = sous faisceau radioactif

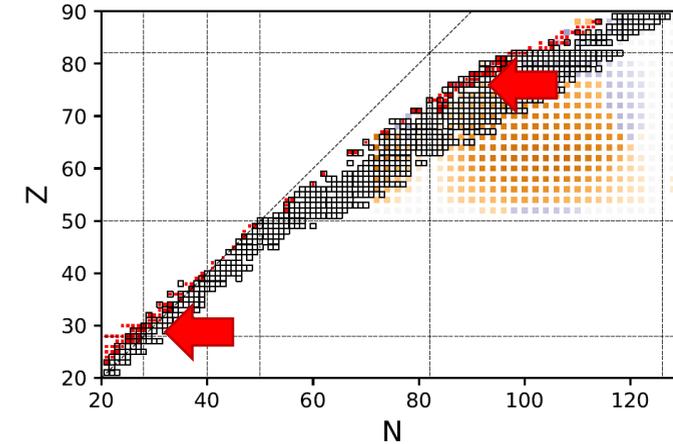


E. Mogilevskiy *et al.* (KU Leuven)

Trou sortie	T extraction
d=1 mm	630 ms
d=1.5 mm	280 ms

□ Limitation :

- Temps d'extraction trop long pour certains isotopes.



- Production S³
- T_{1/2} < 250 ms

<https://u.ganil-spiral2.eu/chartbeams/>

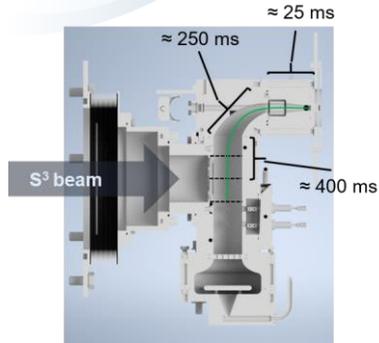
M. Kortelainen *et al.*, Phys. Rev. C **82**, 024313 (2010)

E. Mogilevskiy *et al.* (KU Leuven)

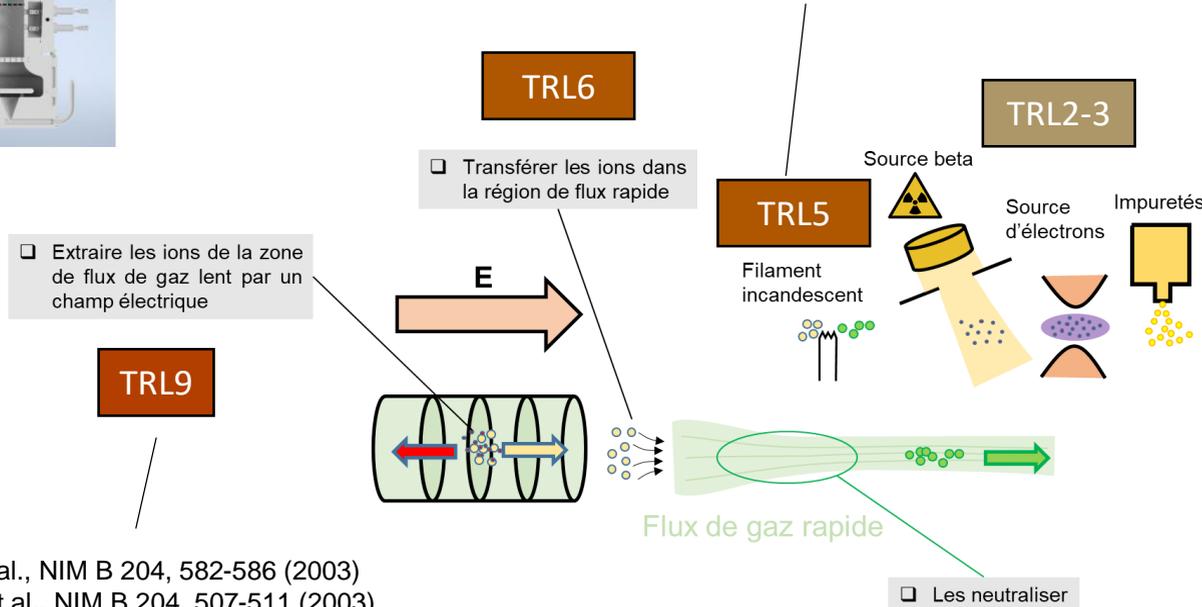
Trou sortie	T extraction
d=1 mm	630 ms
d=1.5 mm	280 ms

❑ Limitation :

- Temps d'extraction trop long pour certains isotopes.



S. Raeder *et al.*, NIM B 463, 272-276 (2020)



❑ Une deuxième limitation : efficacité de neutralisation

Projet FRIENDS³



ANR-21-CE31-0001

- G. Savard *et al.*, NIM B 204, 582-586 (2003)
- S. Schwarz *et al.*, NIM B 204, 507-511 (2003)
- J. B. Neumayr *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 77, 065109 (2006)
- J. B. Neumayr *et al.*, NIM B 244, 489-500 (2006)
- C. Droese *et al.*, NIM B 338, 126-138 (2014)
- M. Ranjan *et al.*, NIM B 770, 87-97 (2015)



ANR-21-CE31-0001

❑ Objectif global du projet : construire une cellule à gaz rapide de neutralisation

- ✓ Développer un protocole de simulation des processus dans la cellule à gaz
- ✓ Construire un banc de test pour des études expérimentales

avec les mêmes outils

Développer un prototype jusqu'à

TRL6

Futur financement

TRL9

avec ces outils

Réaliser d'autres futurs développements pour S³-LEB au niveau sans complications d'accès et intégration

TRL6

Budget

- 24 mois postdoc
- 200 kEUR dépenses

Equipe ≈ 2 ETP/an

- Vladimir Manea (resp.), Serge Franchoo, David Lunney, Enrique Minaya-Ramirez
- Thierry Hourat, Samuel Roset (BE)
- Elodie Morin (postdoctorante)
- Wenling Dong (doctorante)

☐ Planning révisé avril 2023:

Cellule = 2 mois

Tâches	2021	2022	2023	2024	2025
1. Etude préparatoire	█	█			
2. Postdoc			█	█	█
3.1 Construction Phase I		█	█	█	
3.2 Construction Phase II				█	█
4. Tests à IJCLab			█	█	
5. Préparation de l'espace au GANIL			█	█	
6. Transport et installation au GANIL			█	█	
7. Mesures au GANIL				█	█

Phase I: Banc de test sans cellule à gaz rapide
Phase II: Construction de la cellule à gaz rapide (TRL6)

démarrage

aujourd'hui

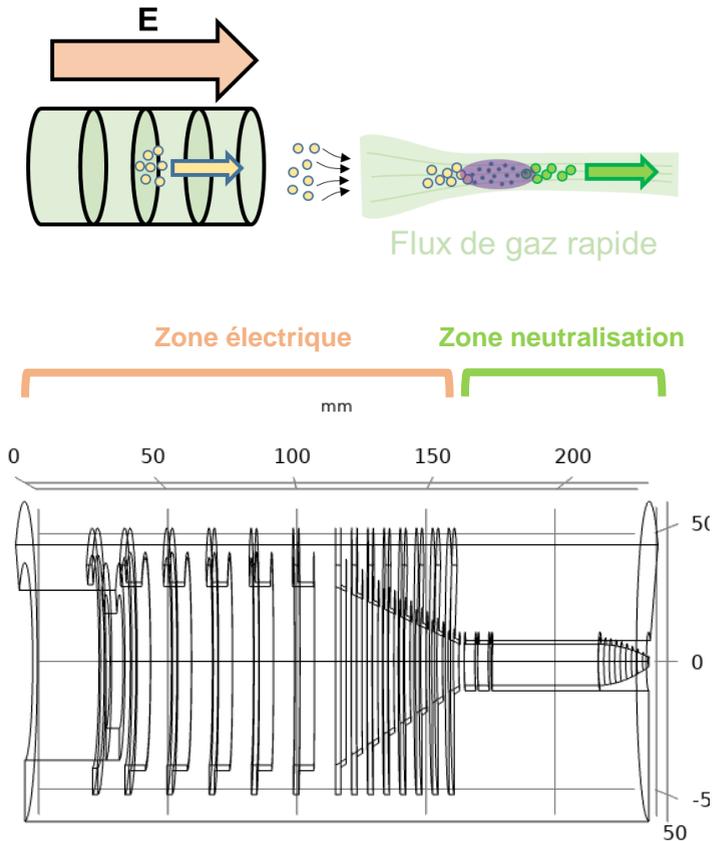
Phase I

Phase II

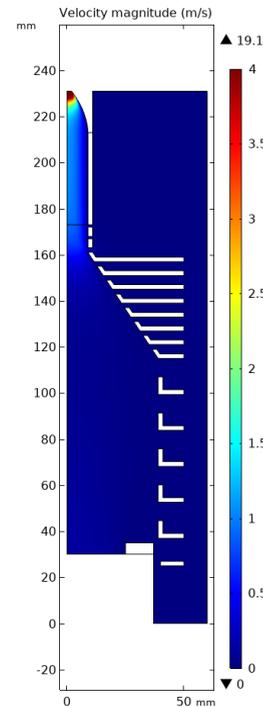
Besoin de lasers

fin financement

- Etude l'extraction rapide des ions entre les deux zones



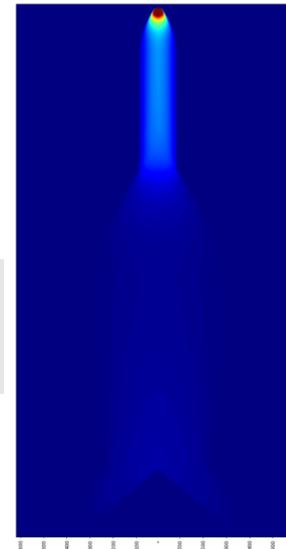
COMSOL
(licence mutualisée IN2P3)



Simulation du flux de gaz (module CFD)

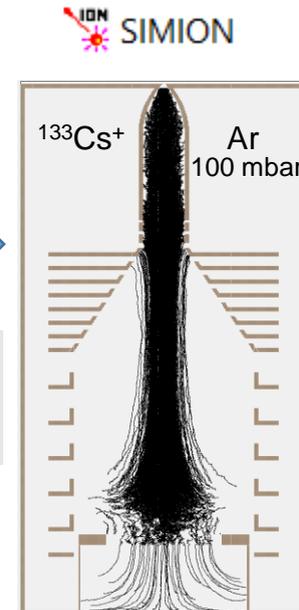
Python

Conversion en
fichier d'entrée
SIMION



SIMION
(module SDS)

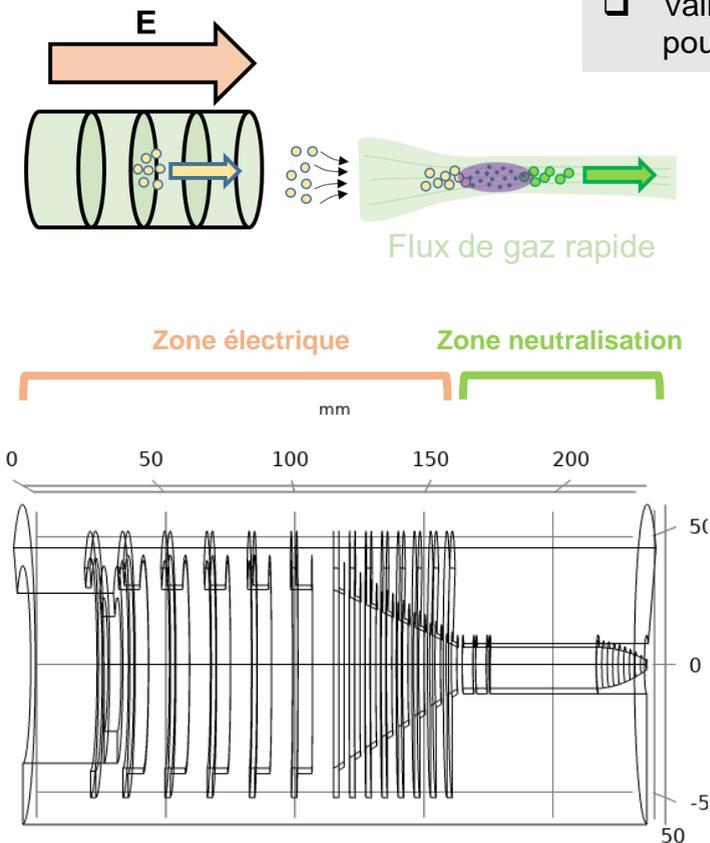
Efficacités et
des temps
d'extraction



Simulation du parcours d'ions

❑ Optimisation de la géométrie et des tensions

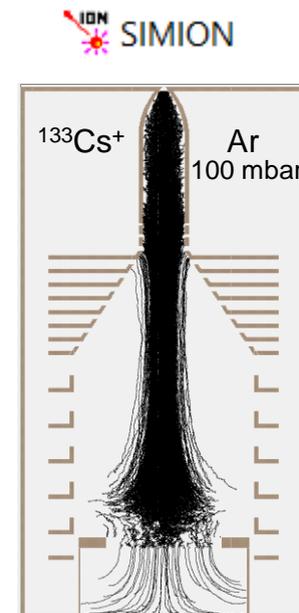
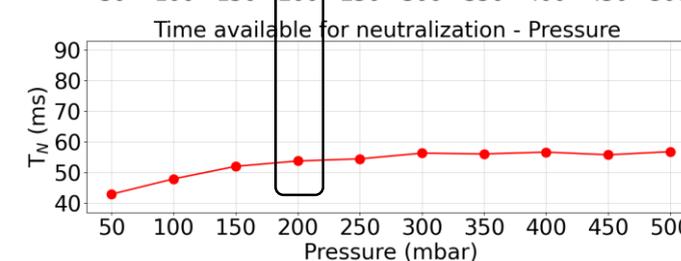
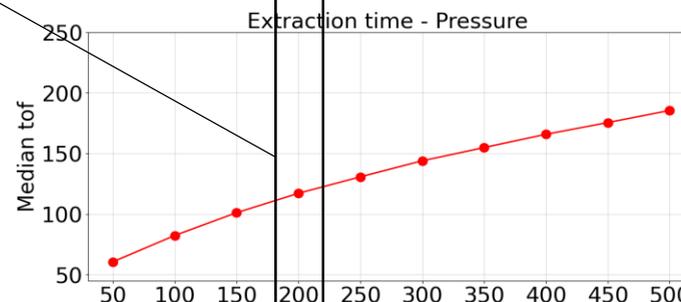
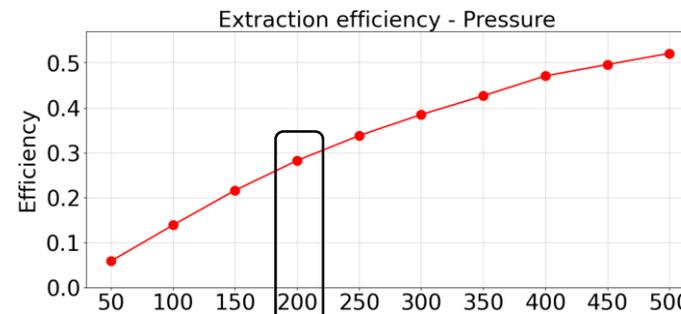
❑ Validation du design
pour l'objectif TRL6



~ 30%

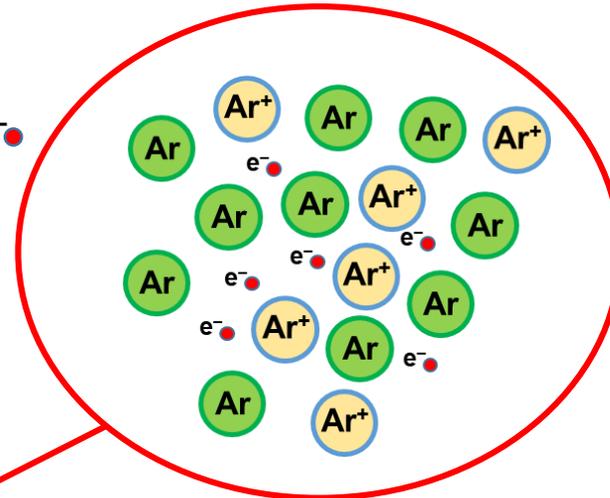
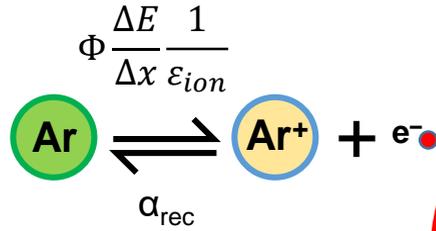
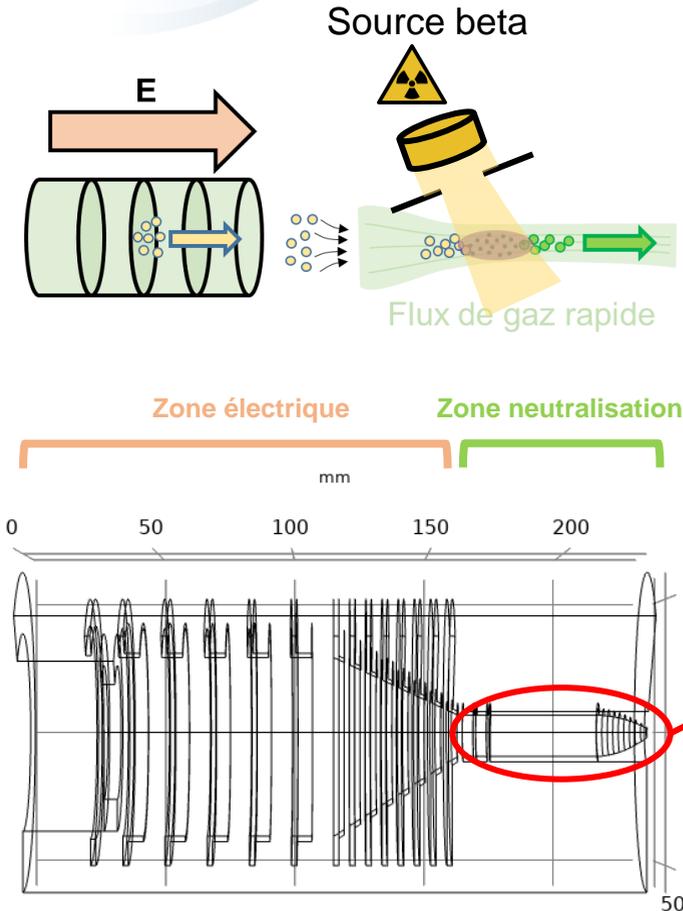
~ 120 ms

~ 55 ms



Travail de Wenling Dong

Calcul de la densité de charge d'équilibre



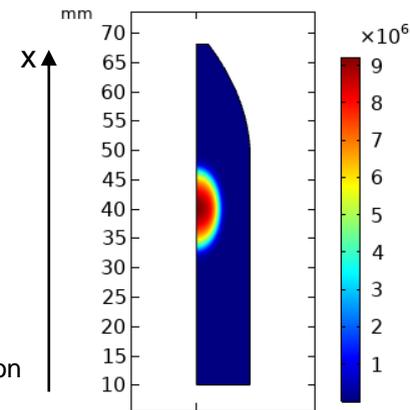
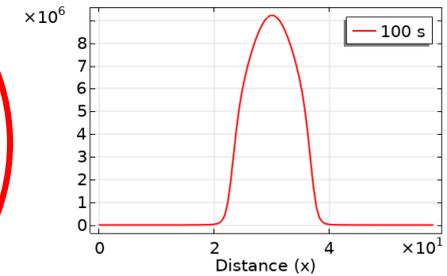
Densité d'équilibre

	Maximum equilibrium electron density (1/cm ³)	
Analytical	2.0×10^7	Sans convection ou migration
COMSOL	0.9×10^7	

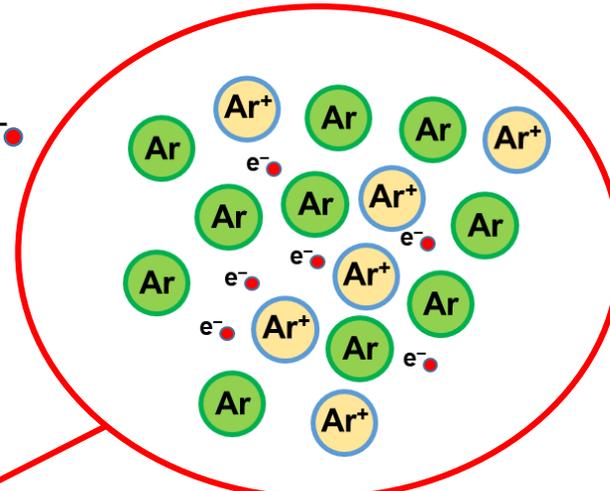
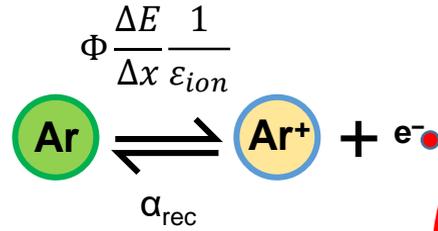
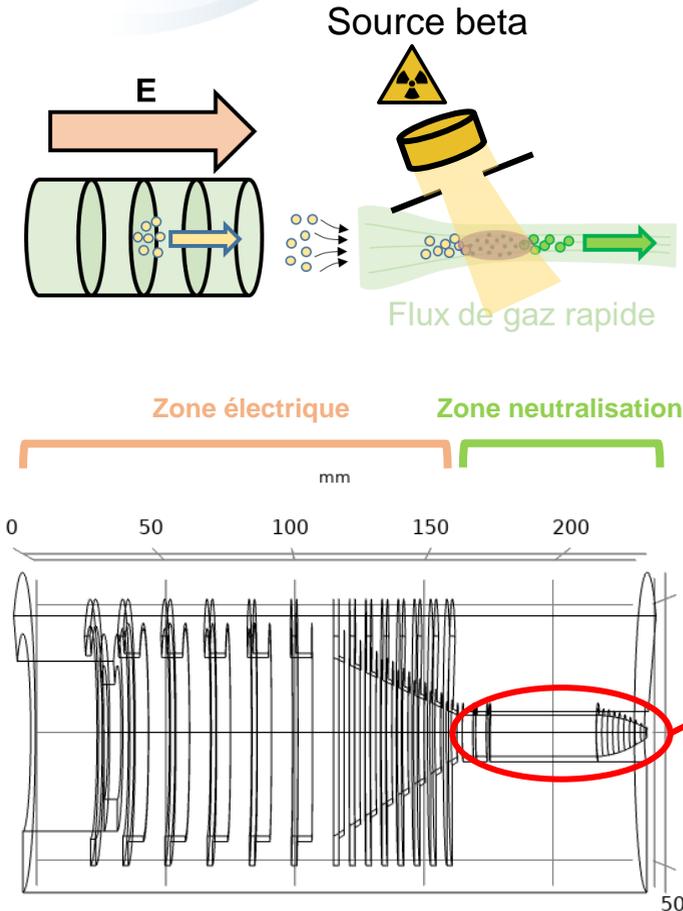
Activité béta 40 MBq, pression 100 mbar

Travail de Wenling Dong

COMSOL



Calcul de la densité de charge d'équilibre



Densité d'équilibre

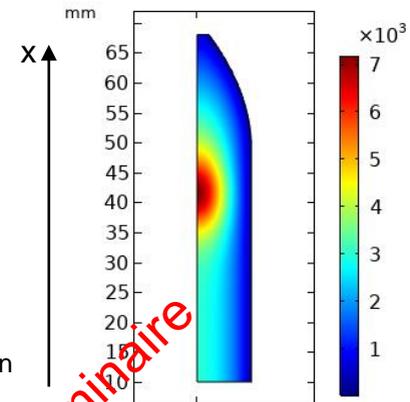
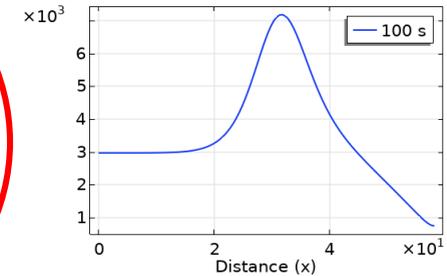
	Maximum equilibrium electron density (1/cm ³)
Analytical	2.0×10^7
COMSOL	0.7×10^4

Avec convection et migration

Activité béta 40 MBq, pression 100 mbar

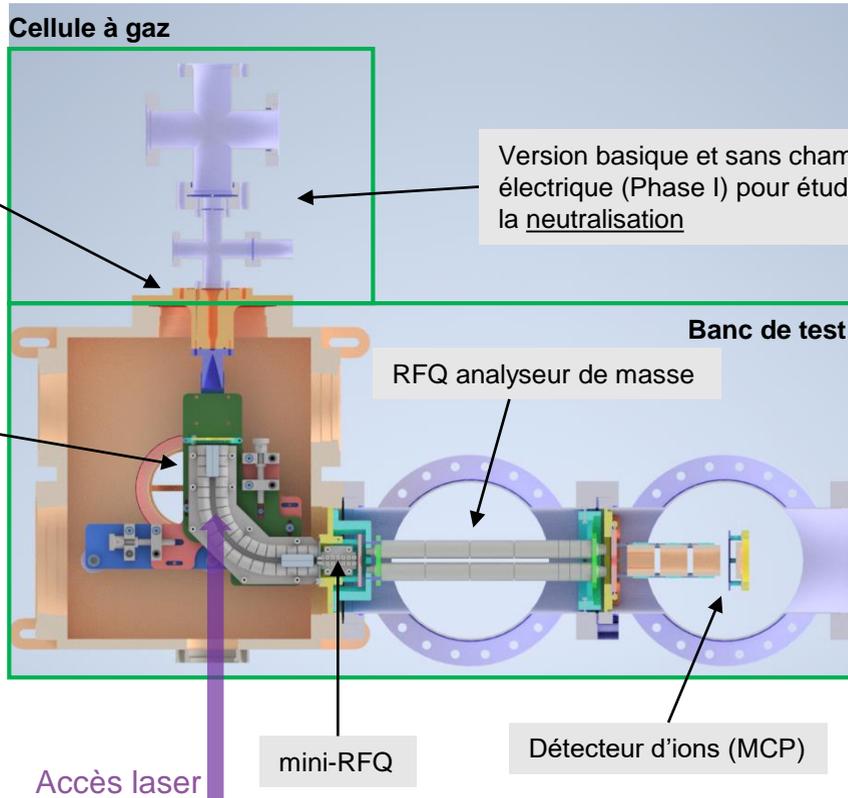
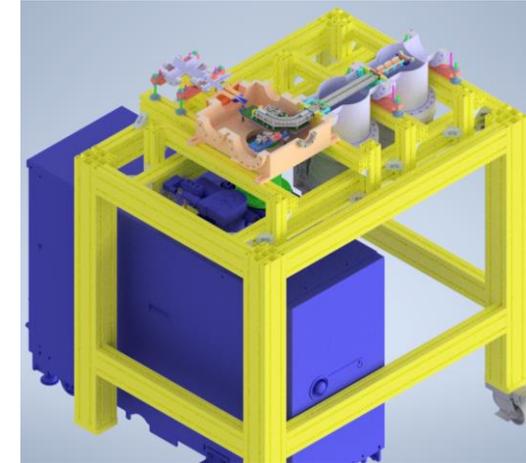
Travail de Wenling Dong

COMSOL

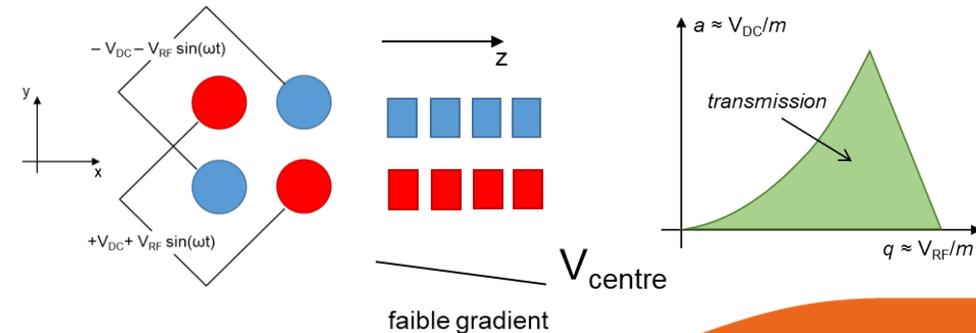


Préliminaire

- Etude mécanique du banc de test presque finalisé.



- Des RFQs pour:
 - guider les ions ($V_{DC} = 0$)
 - analyser la masse ($V_{DC} > 0$)



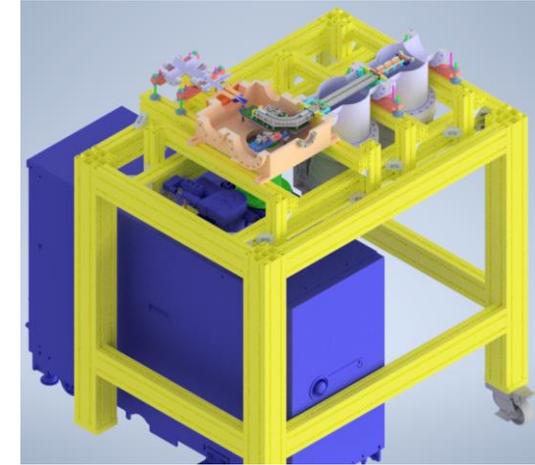
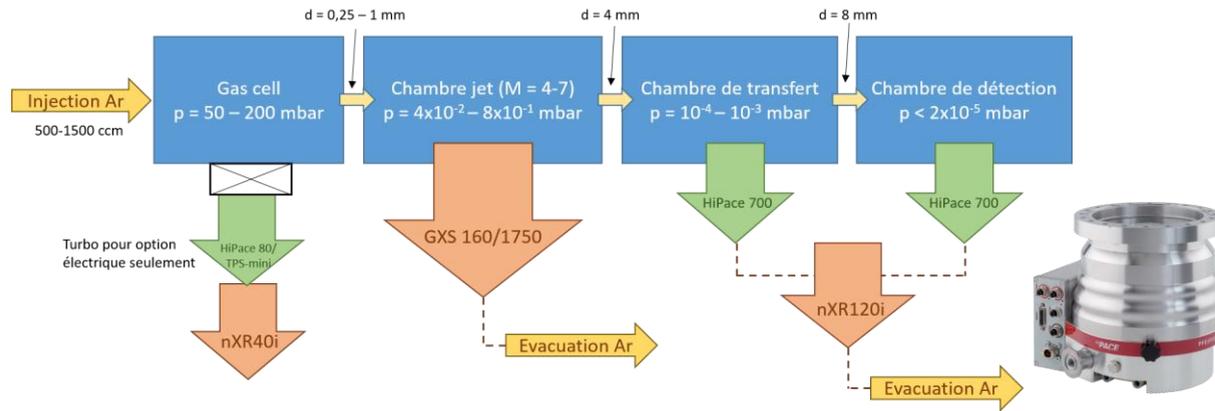
Accès laser

mini-RFQ

Détecteur d'ions (MCP)

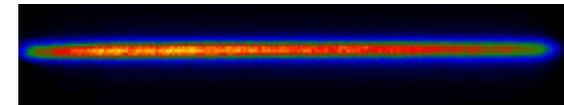
RFQ courbé et mini-RFQ: contribution de KU Leuven (Kudryavtsev et al., NIMB 297, 2013)

- Système de vide défini et acheté
- Besoin de pompage différentiel important

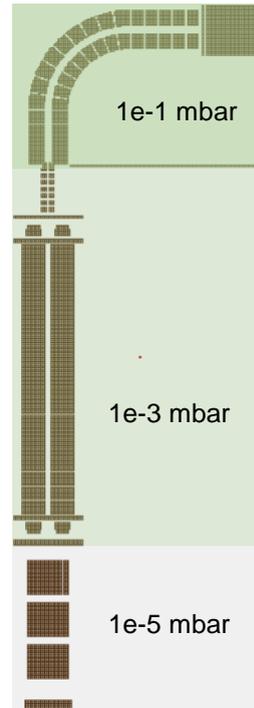
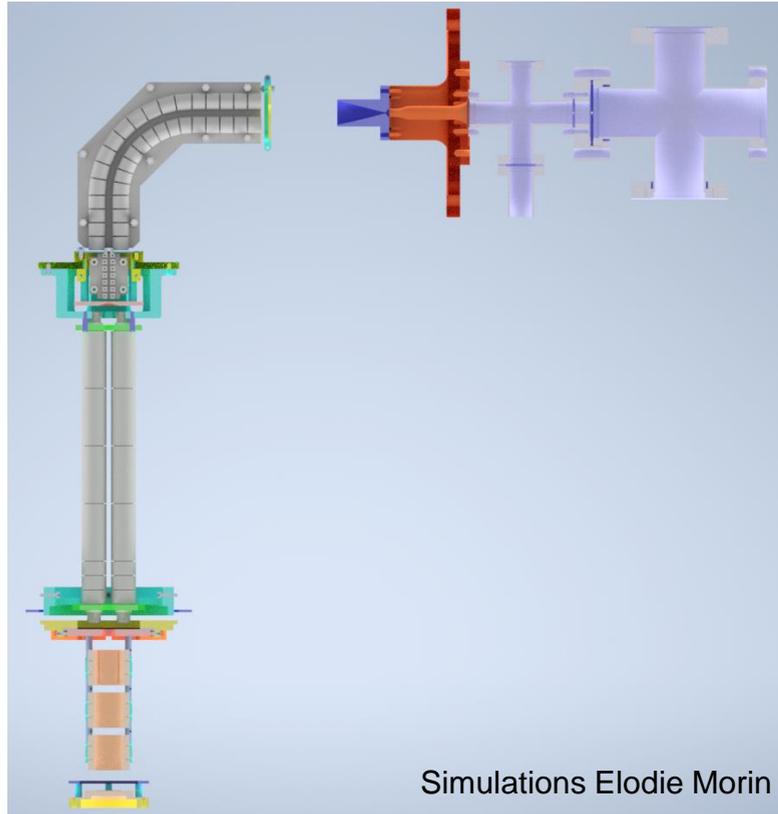


- Vitesse de pompage dans la chambre du jet de quelques 100s L/s @ 0.1 mbar pour obtenir un jet parallèle et homogène.

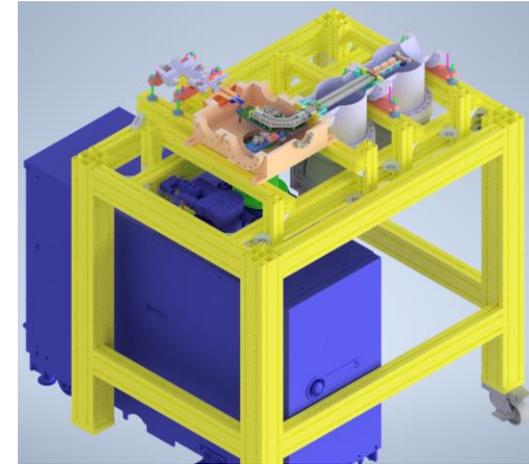
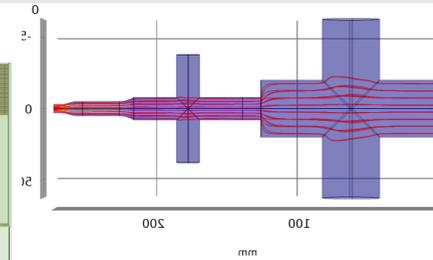
A. Zadvornaya et al., PRX 8 (2018) 041008



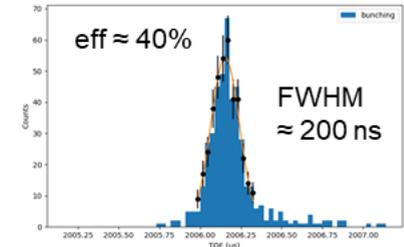
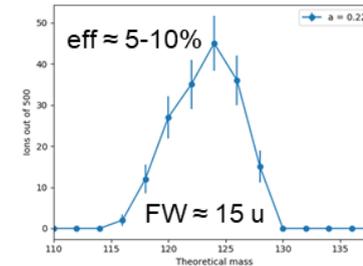
- ☐ Simulations du système de transport d'ions



- ☐ Simulation du flux de gaz dans la cellule à gaz simple.



- ☐ Efficacité globale préliminaire 70% (en transmission)
- ☐ Possibilité de sélectionner 10-15 unités de masse à une efficacité de 5-10%



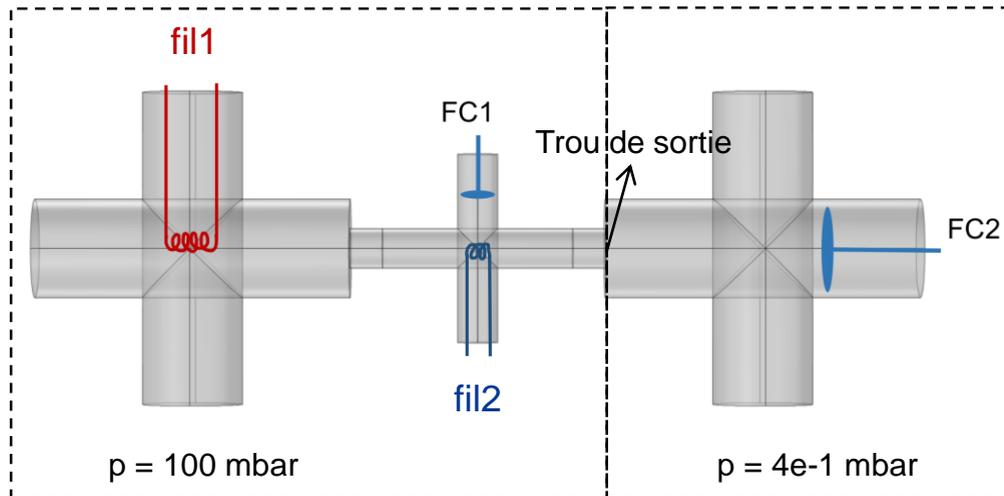
- ❑ Cellule à gaz simplifiée et détection directe à la sortie

Filament Ta + solution



Source d'ions

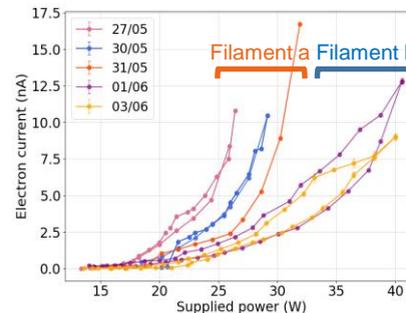
Cellule à gaz Phase I



Chambre de détection

Source d'électrons

Filament W



- ❑ Optimisation de la production d'ions et d'électrons dans le gaz

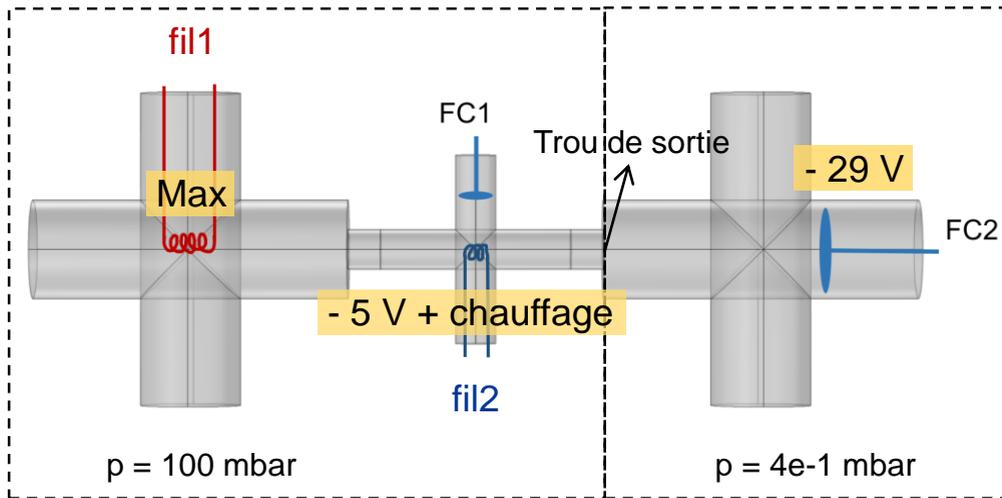
❑ Cellule à gaz simplifiée et détection directe à la sortie

Filament Ta + solution



Source d'ions

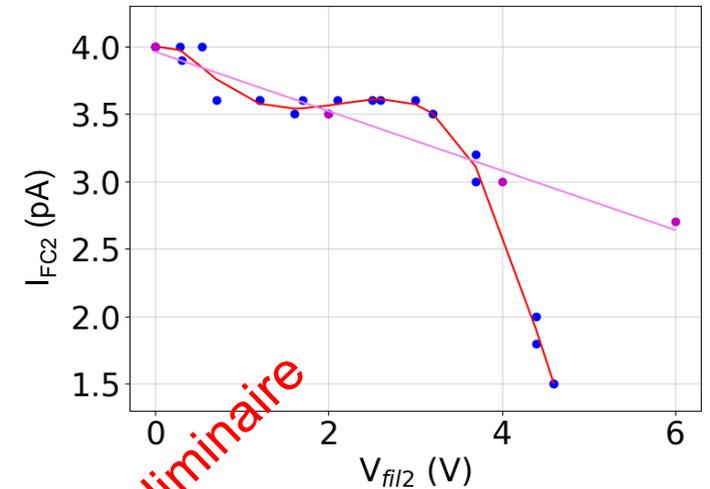
Cellule à gaz Phase I



Chambre de détection

❑ Mesure de l'effet de l'émission du filament W sur les ions du filament Ta

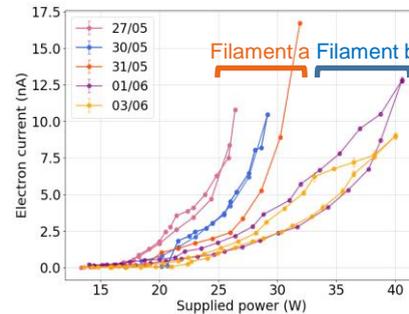
— Perte par attraction
— Perte par chauffage (effet des électrons?)



Préliminaire

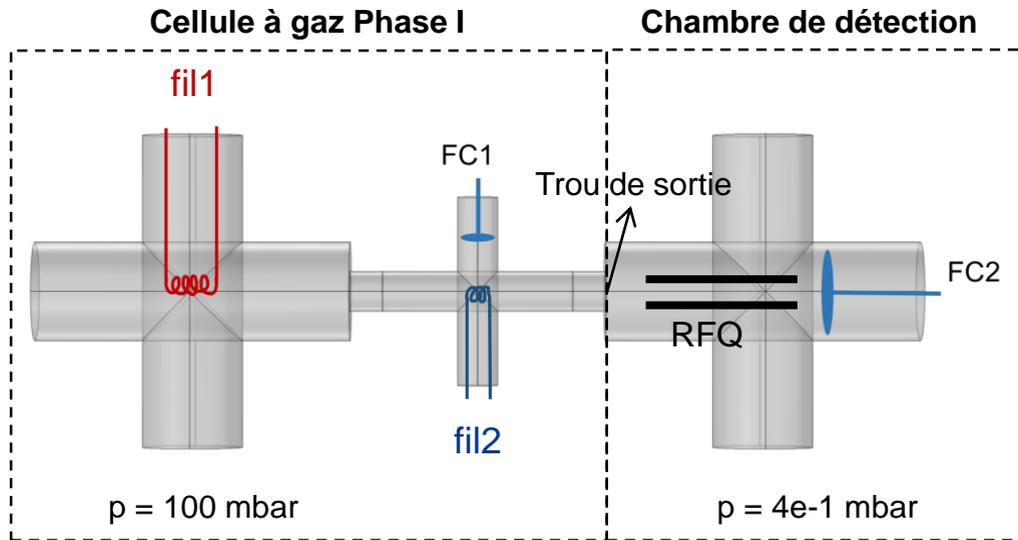
Source d'électrons

Filament W

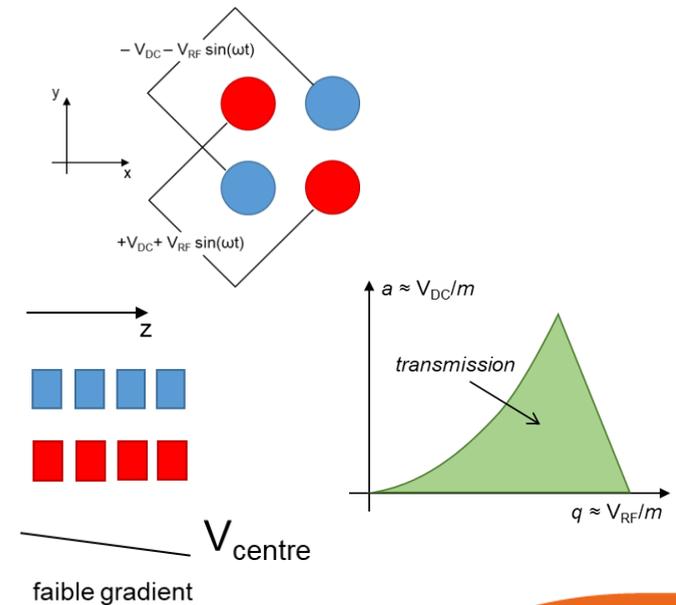


❑ Optimisation de la production d'ions et d'électrons dans le gaz

- Construction d'un petit RFQ d'extraction



- Utilisation du RFQ en tant que séparateur de masse grossier (mauvaise résolution dû à la haute pression)

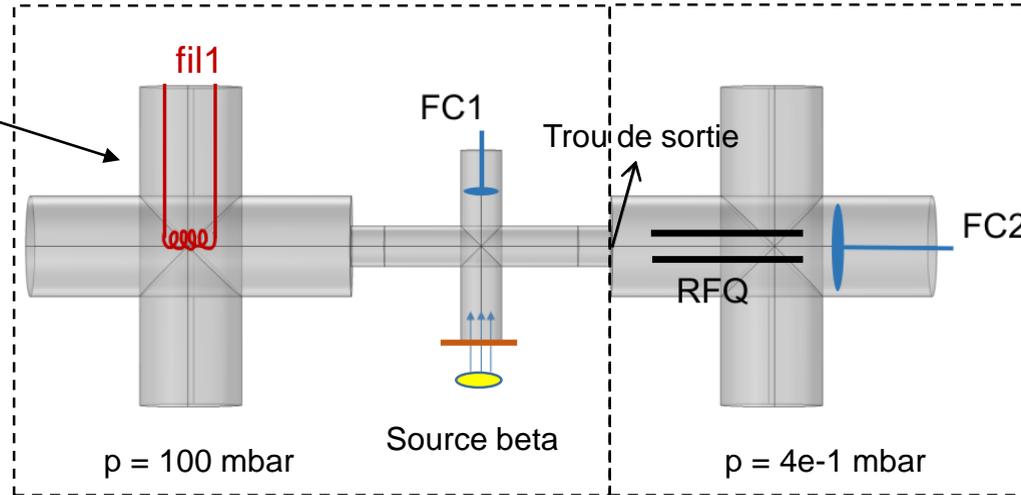


- Construction d'un petit RFQ d'extraction pour filtrer les ions d'Ar et les électrons.

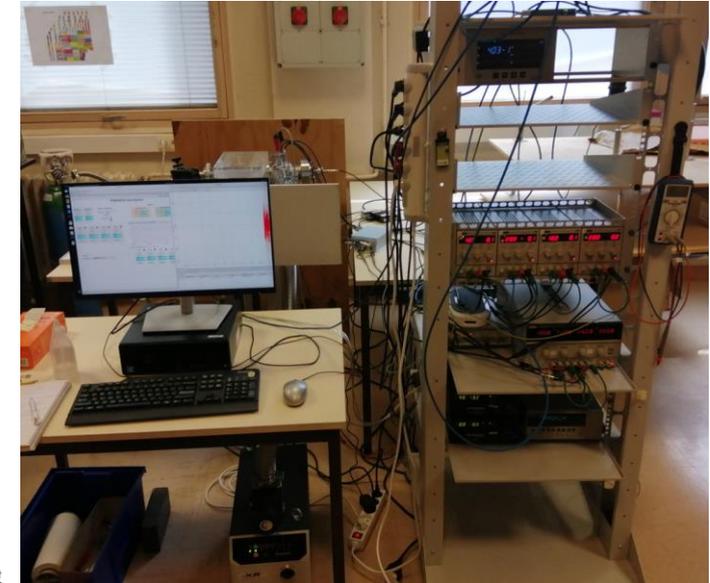
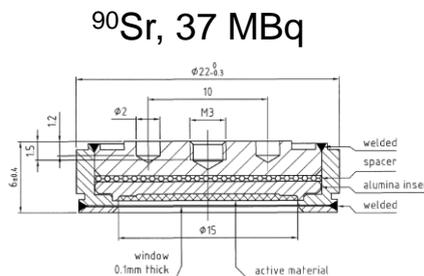
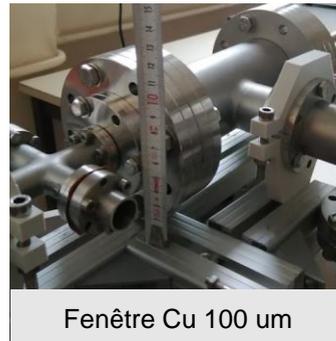
Cellule à gaz Phase I

Chambre de détection

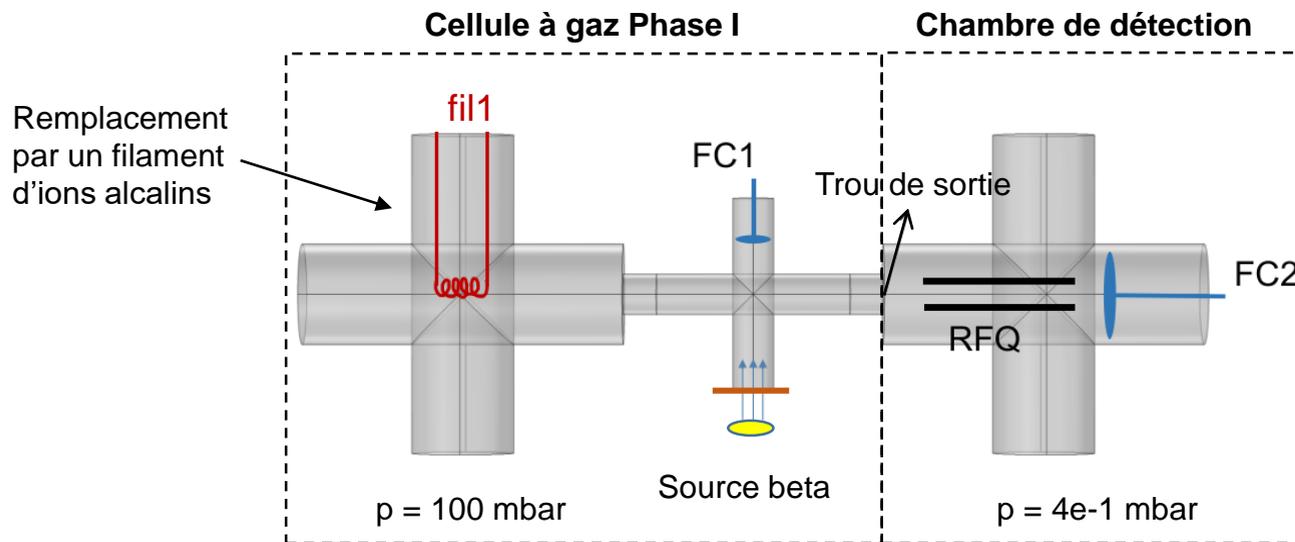
Remplacement
par un filament
d'ions alcalins



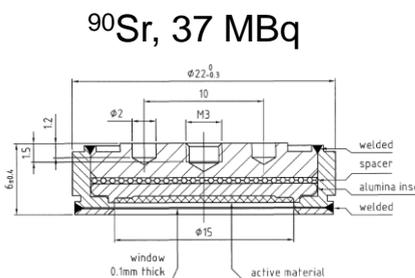
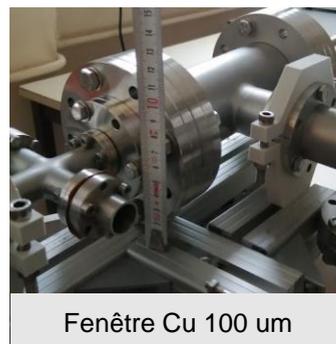
- Installation du banc dans une salle autorisée pour l'utilisation des sources scellées.



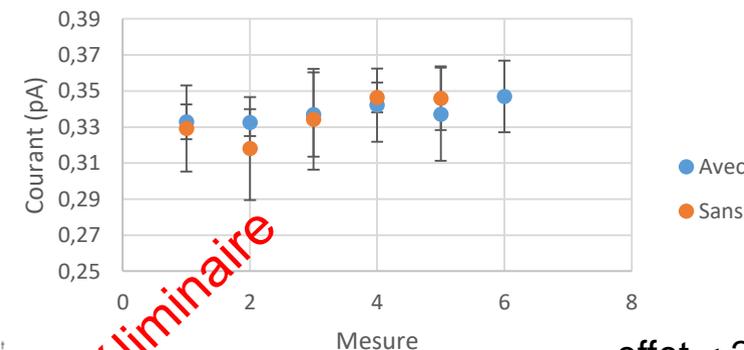
- Construction d'un petit RFQ d'extraction pour filtrer les ions d'Ar et les électrons.



- Installation du banc dans une salle autorisée pour l'utilisation des sources scellées.
- Test de l'effet d'une source bêta sur un courant d'ions du filament 1.



Courant avec/sans source beta



Préliminaire

effet < 2%

FRIENDS3 test bench

Heating_1

0.05 V

0.01 A

0.80 V

0.00 A

Heating_2

0.82 V

0.00 A

0.80 V

0.00 A

Chamber temperature

ADC output 148 0-255

ADC voltage 1.92 V

Temperature

17.87 Celsius



Proportional controller RF_REG

Target value 44.760 V

Gain value -0.0200

Threshold 0.500 V

Control value 2.570

Regulation ON

DC1	DC2	DC3	DC4
11.990 V	19.990 V	12.000 V	19.990 V
0.0000 A	0.0000 A	0.0000 A	0.0000 A
12.00 V	20.00 V	12.00 V	20.00 V
0.10 A	0.10 A	0.10 A	0.10 A
Off	Off	Off	Off

Moku_1

Generator CH1

Amplitude (pp) 2.57

Frequency 500000.00

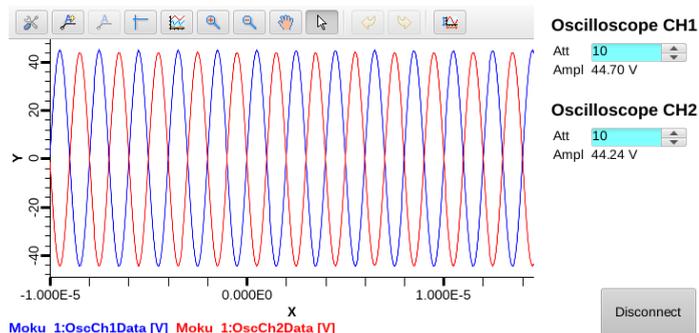
Phase 0.00

Generator CH2

Amplitude (pp) 0.00

Frequency 500000.00

Phase 0.00

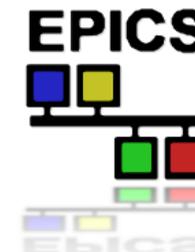


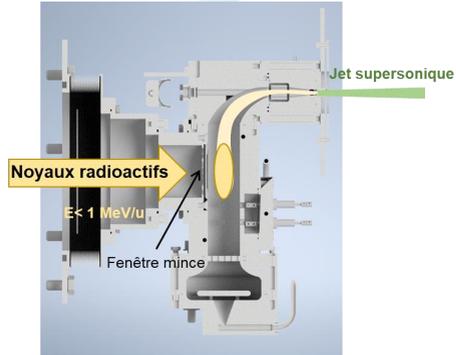
PS1	PS2	PS3	PS4
-0.06 V	0.01 V	0.69 V	0.70 V
-0.00 A	0.00 A	0.00 A	0.00 A
0.00 V	0.00 V	0.60 V	0.60 V
0.00 A	0.00 A	0.07 A	0.07 A
On	On	On	On

Detector

Current 5.339E-13 A

- Développement d'un système de commande et contrôle basé sur EPICS (comme S³-LEB)
- Utilisation de Python (pyepics, pycaspy) pour les applications spéciales.





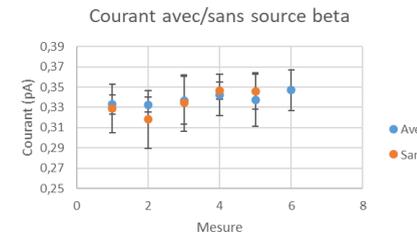
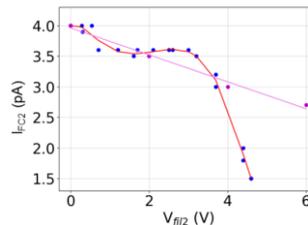
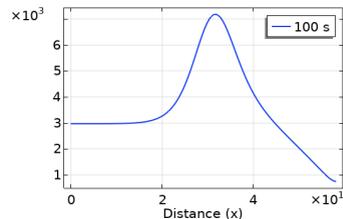
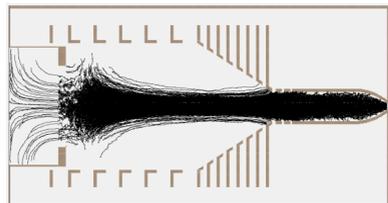
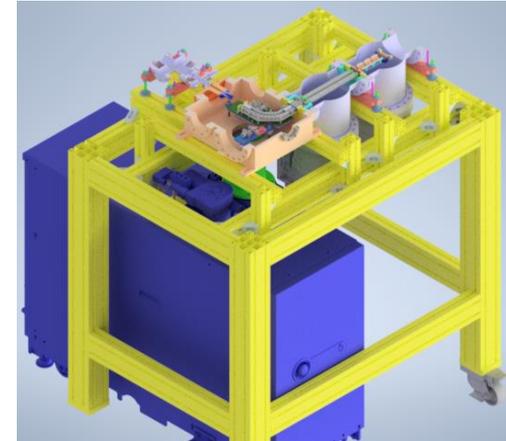
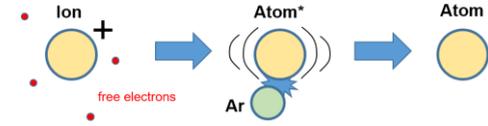
- ❑ FRIENDS³ est un nouveau projet dédié aux futurs développements de la cellule à gaz de S³-LEB
 - Approche multi-phase
 - Intérêt de comprendre les processus de base

- ❑ Le projet est proche de finir le design de son banc de test:
 - Usinage et assemblage jusqu'à mi-2024



- ❑ Premières simulations et tests en cours

- ❑ Le banc de test sera installé au GANIL, permettant de réaliser plus facilement des futurs développements jusqu'au niveau TRL6



- **Equipe FRIENDS³ @ IJCLab**

Wenling Dong, Serge Franchoo, Thierry Hourat, David Lunney, Vladimir Manea, Enrique Minaya-Ramirez, Elodie Morin, Samuel Roset

- **S3-LEB collaboration**

- **JETRIS collaboration (HIM, JGU Mainz, GSI)**



ANR-21-CE31-0001

