

Table of content

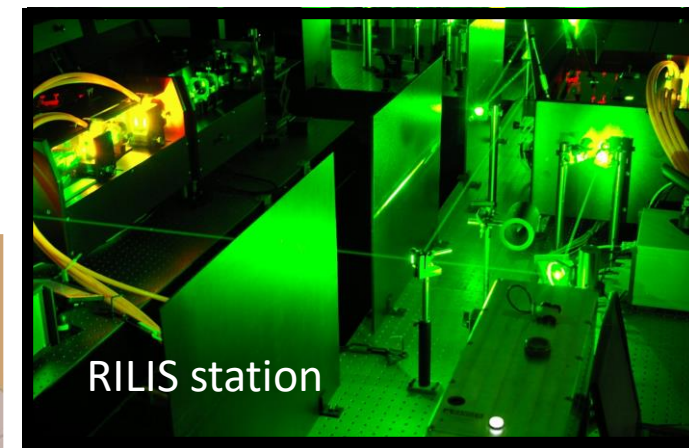
- **Radioactive ion beam facilities in France**
- **Brief overview and highlights of projects**
 - UCx targets for fission at ALTO – The « STUC » project
 - Fusion evaporation target ion sources at GANIL – SPIRAL 1 - The « TULIP » project
 - Ionisation at GANIL and ALTO in FEBIAD sources
 - Laser Ionisation at ALTO « RIALTO »
 - Optimization of transport at IPHC
 - Charge breeding optimisation at LPSC and GANIL
- **Schedule, outlook**

Radioactive ion beam facilities in France

- 2 facilities: ALTO @IJCLab and GANIL-SPIRAL2



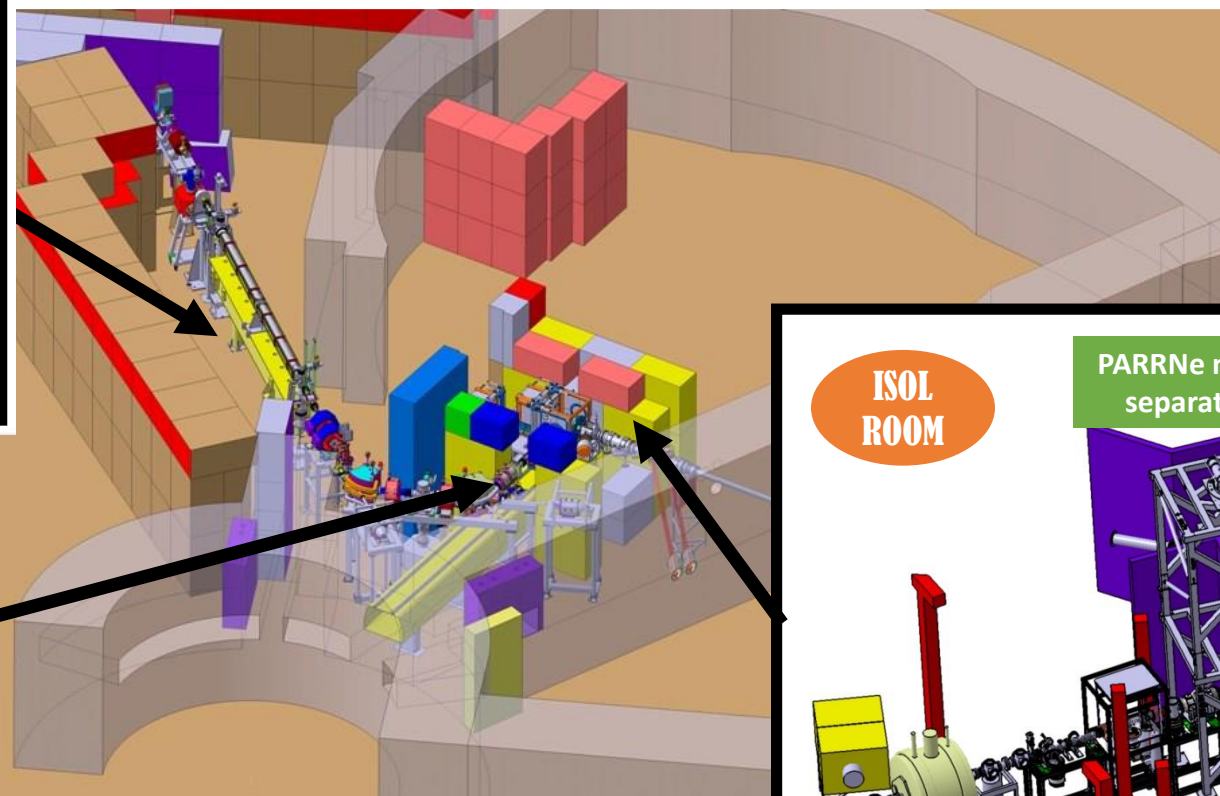
Photofission (pioneer installation)



RILIS station



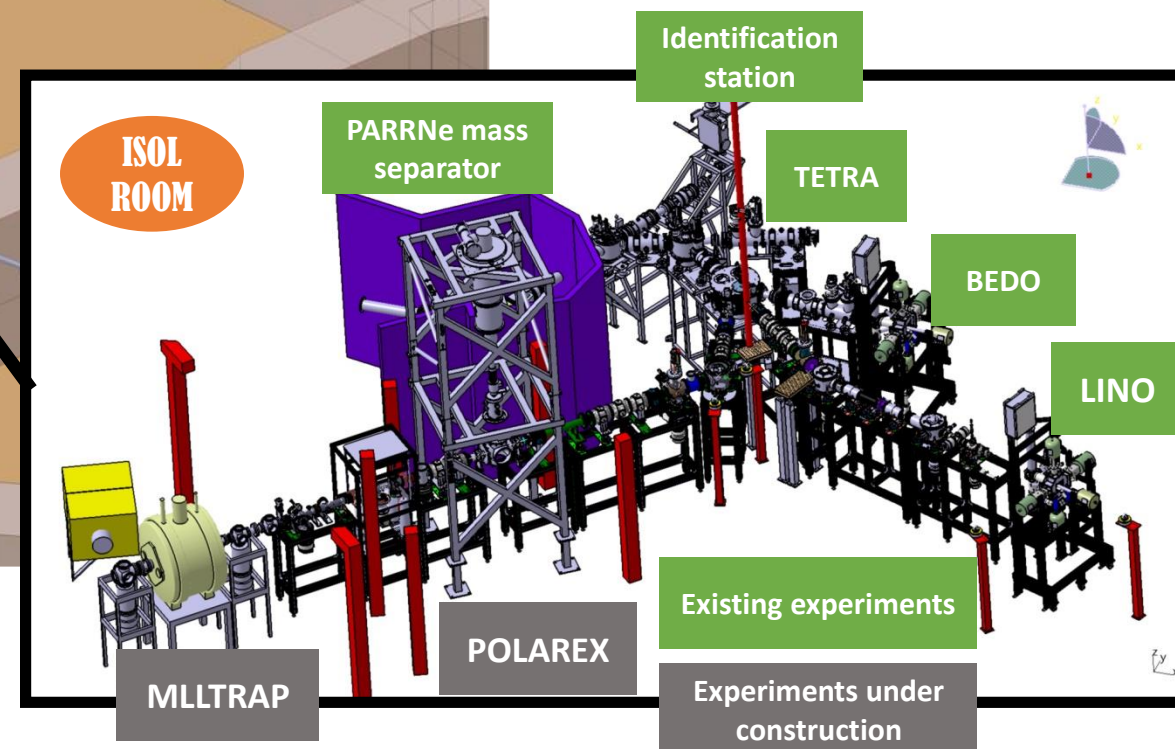
e⁻ LINAC



Target ion source

Ex: $3 \cdot 10^7$ pps of ^{132}Sn

500W e⁻ sur cible UCx
Faisceaux ISOL de basse énergie
Décroissance, piégeage



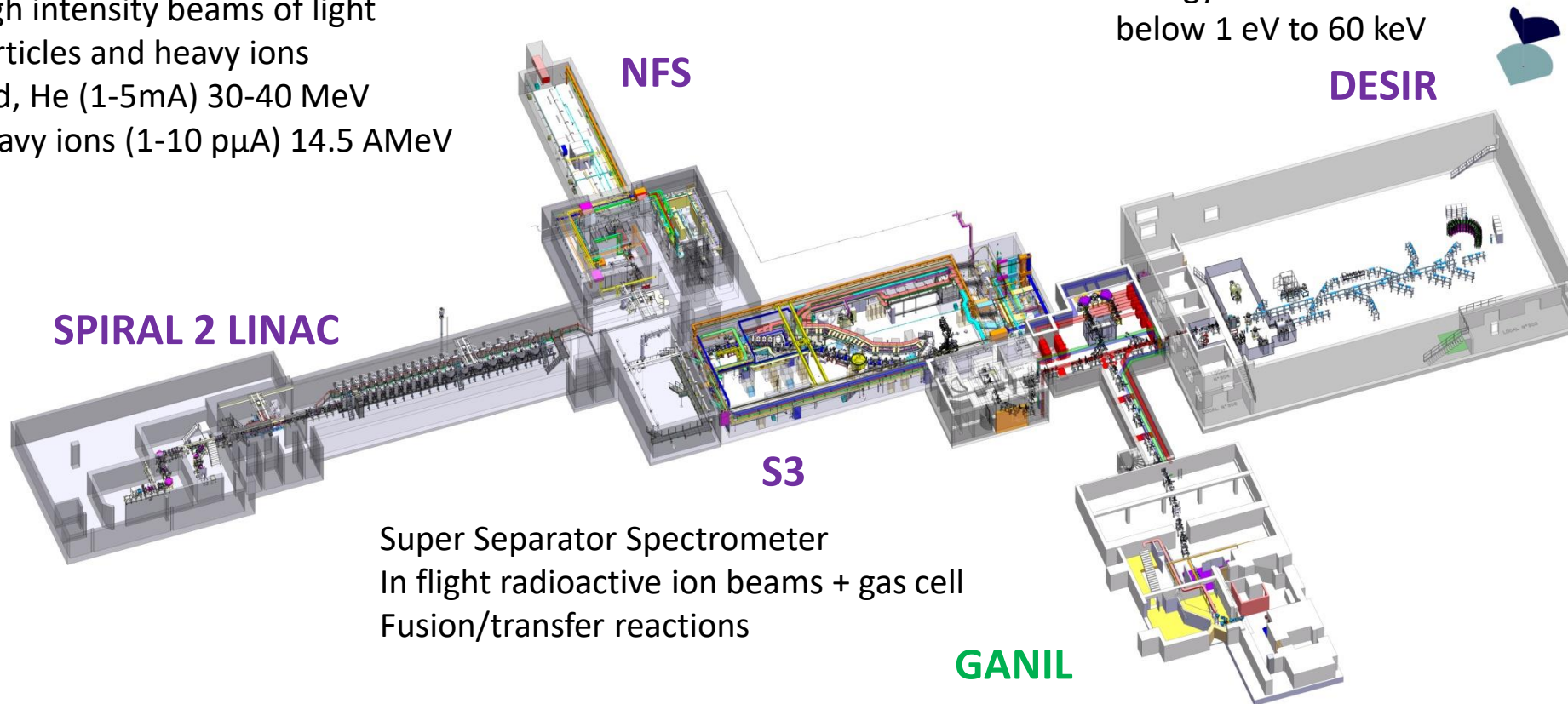
GANIL-SPIRAL 2 – Phase 1



High intensity beams of light particles and heavy ions
p, d, He (1-5mA) 30-40 MeV
Heavy ions (1-10 pμA) 14.5 AMeV

Neutron for Science
Neutrons up to 30 MeV

Experimental areas for very low energy beams:
below 1 eV to 60 keV



Super Separator Spectrometer
In flight radioactive ion beams + gas cell
Fusion/transfer reactions

Experimental areas and cyclotrons: heavy ions (pμA) up to 95AMeV
SPIRAL 1 facility: RIBs from fragmentation

Re-accelerated beams at SPIRAL 1

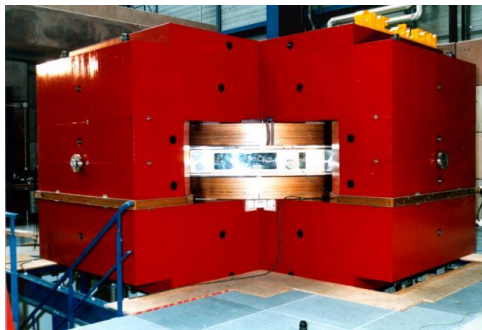
Isotope Separation On Line (ISOL) techniques in GANIL

Since 2001

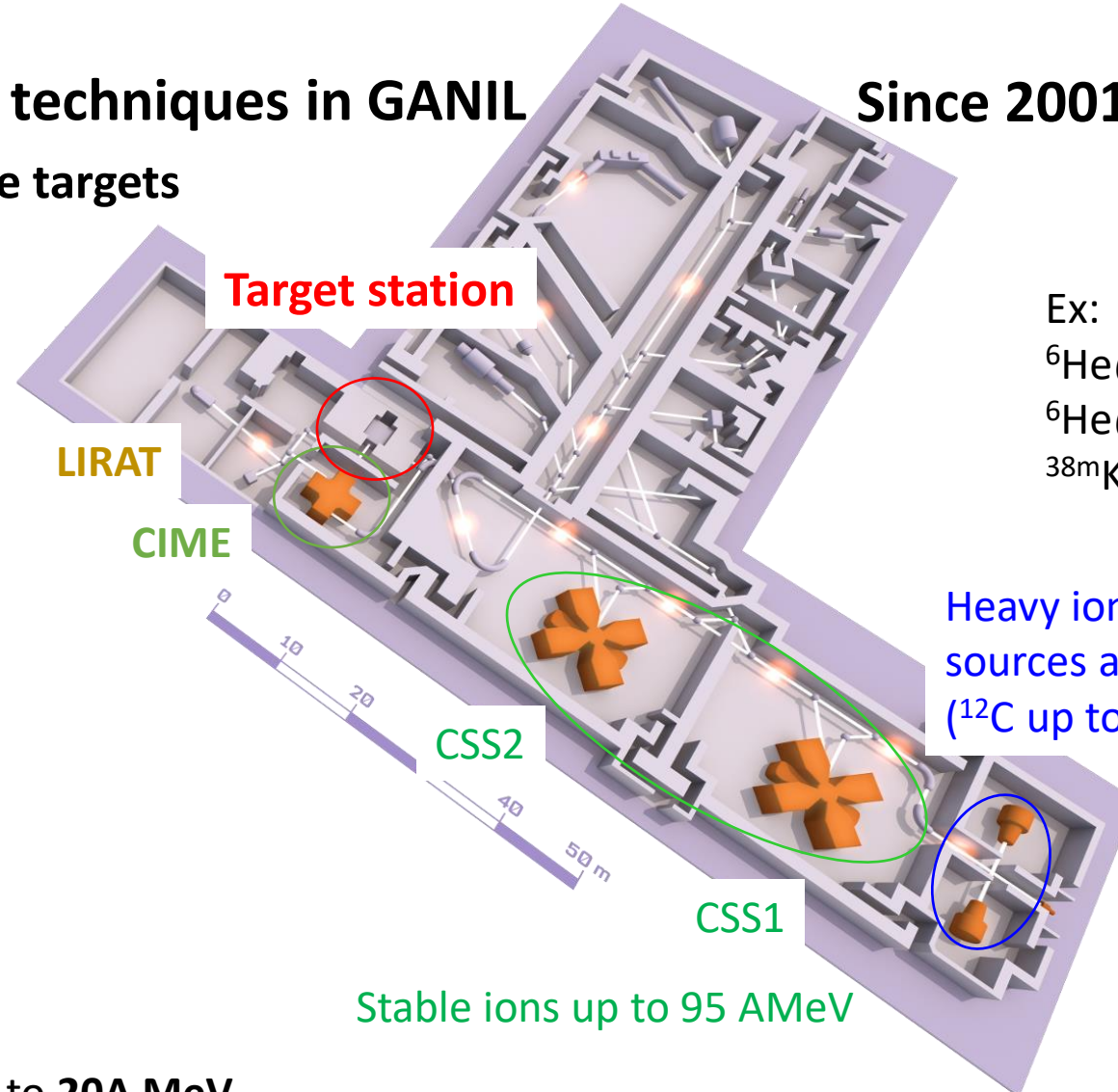
Heavy ion fragmentation on graphite targets



« Cyclotron d'ions de moyenne énergie »



Re-acceleration of radioactive ion beams up to **20A MeV**



Ex:
 ${}^6\text{He}@10\text{keV}$ $3 \cdot 10^8 \text{pps}$
 ${}^6\text{He}@20\text{A MeV}$: $5 \cdot 10^6 \text{pps}$
 ${}^{38\text{m}}\text{K}@9 \text{ A MeV}$: $7 \cdot 10^5 \text{pps}$

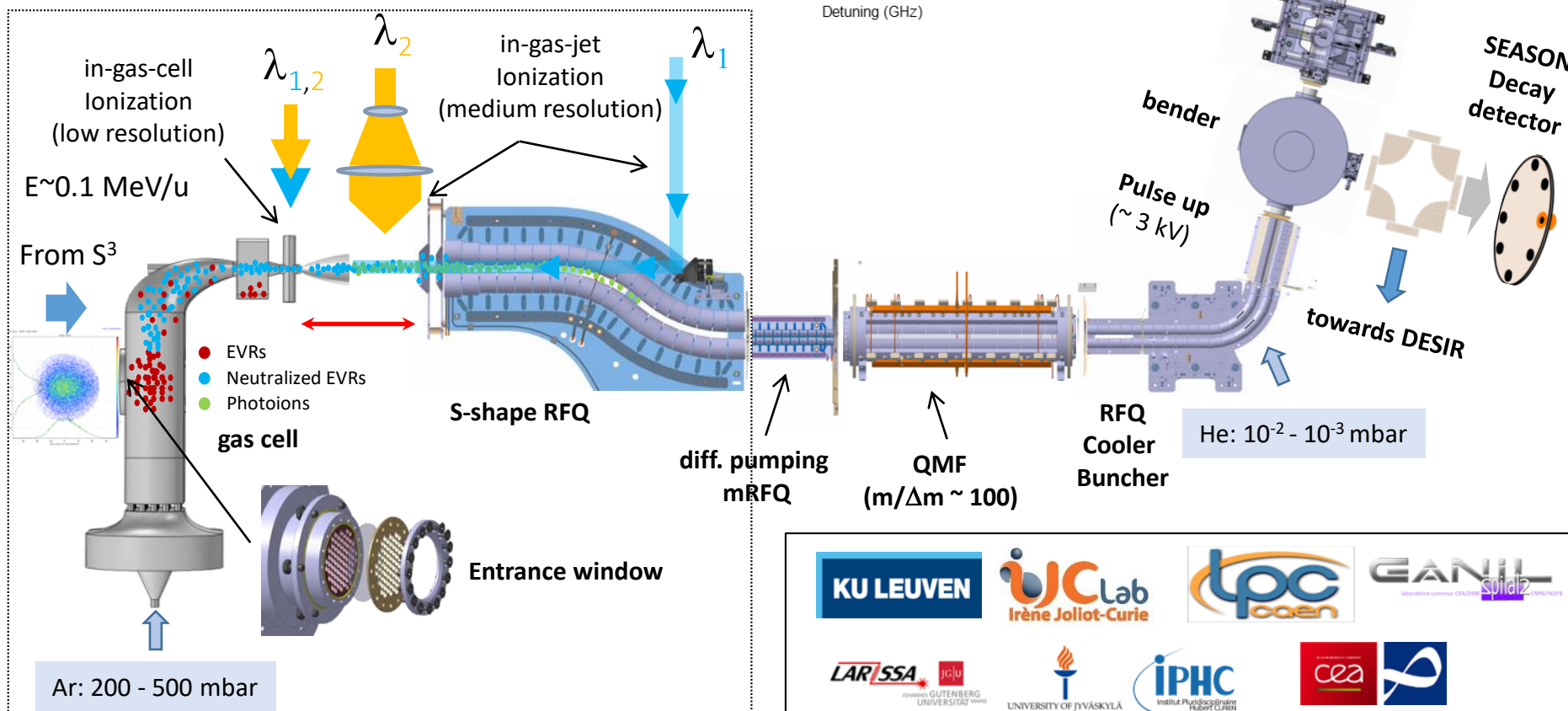
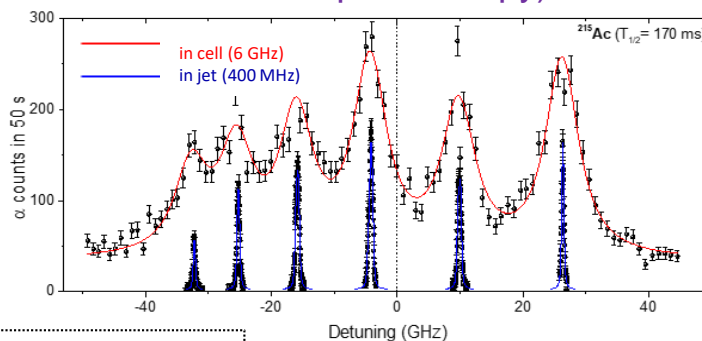
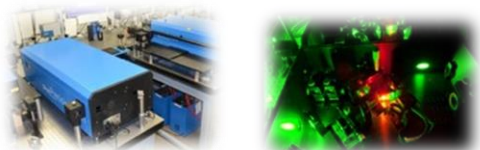
Heavy ion sources and CO (${}^{12}\text{C}$ up to ${}^{238}\text{U}$)

Stable ions up to 95 A MeV

Gas cell in S3 - LEB

Remind talk by N. Lecesne

REGLIS (Rare Element in Gas-jet Laser Ionisation and Spectroscopy)



Ex:
 $^{100}\text{Sn}@30\text{keV} \sim 10 \text{ pps}$

A few pps to 10^5 pps
N=Z beams and
superheavies

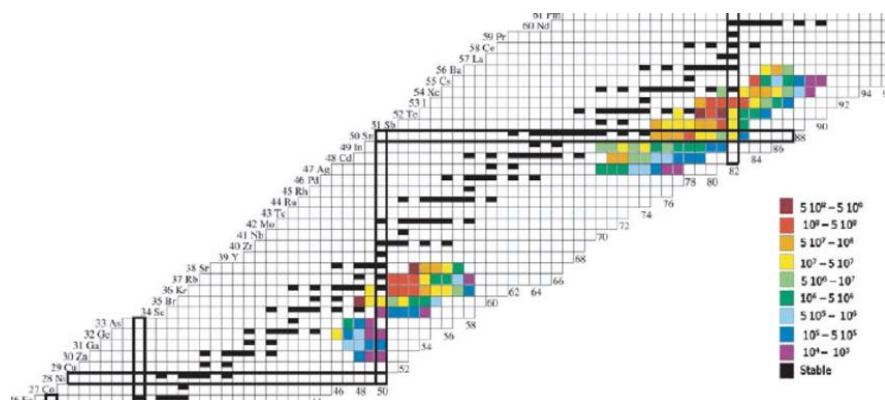
Commissioning in 2024

Nominal intensities
with $A/q=7$ injector
→ 2027

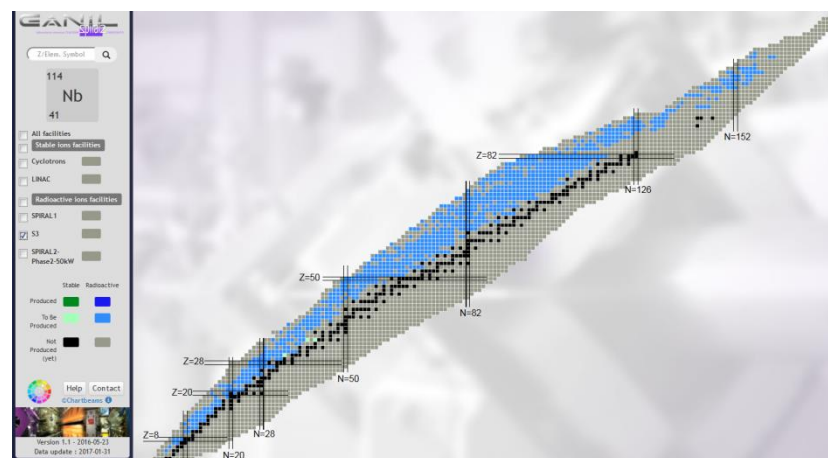


Production at ALTO, SPIRAL 1 & S3-LEB

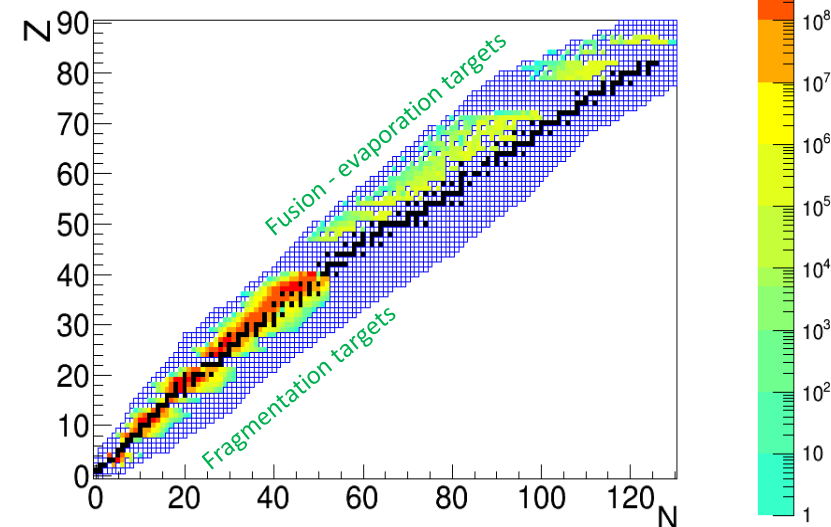
ALTO



S3



SPIRAL 1

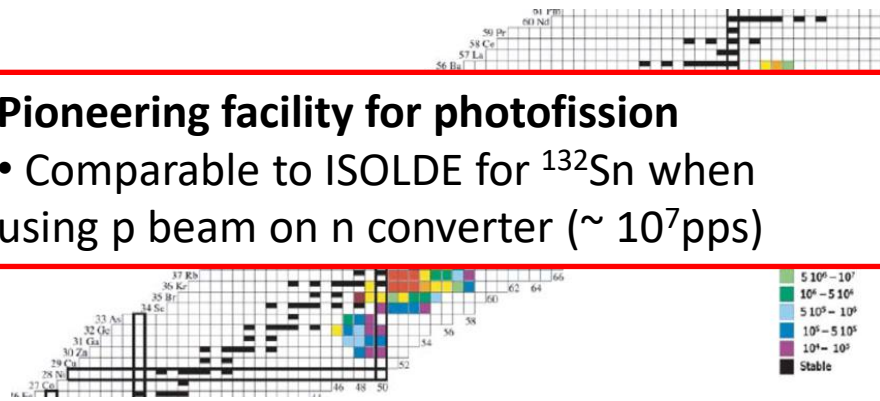


Production at ALTO, SPIRAL 1 & S3-LEB

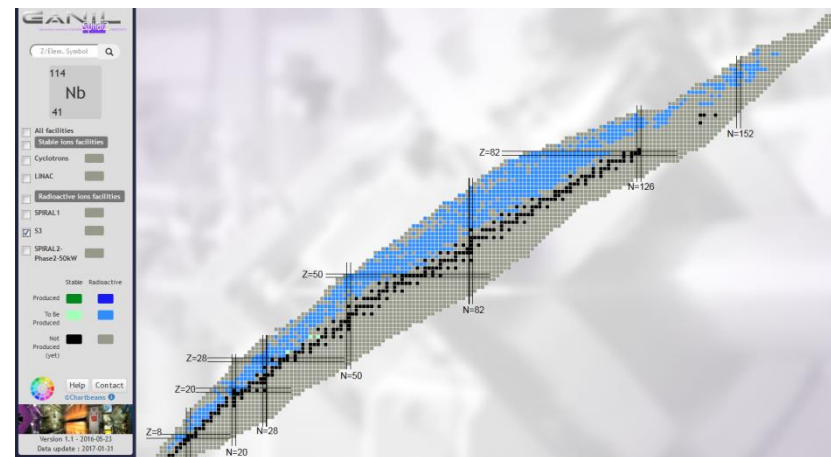
ALTO

Pioneering facility for photofission

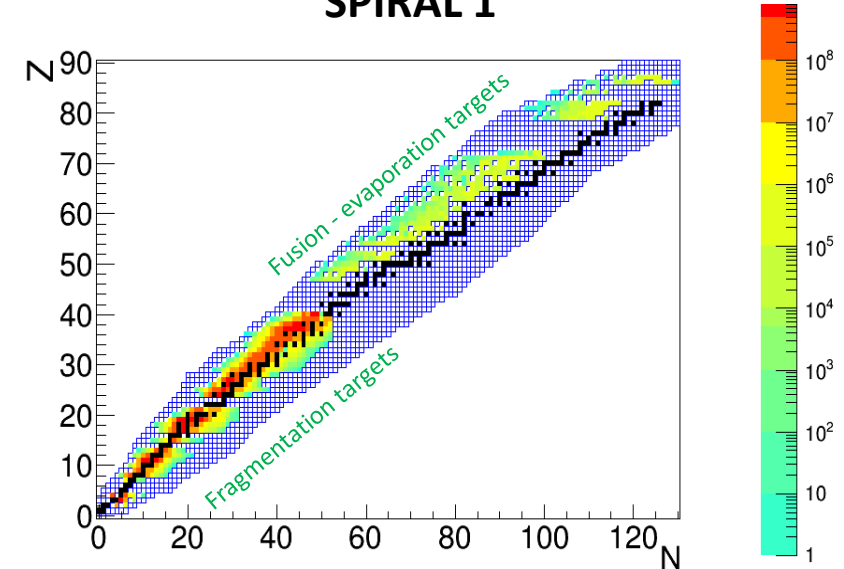
- Comparable to ISOLDE for ^{132}Sn when using p beam on n converter ($\sim 10^7\text{pps}$)



S3



SPIRAL 1

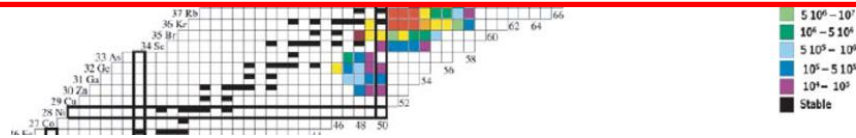


Production at ALTO, SPIRAL 1 & S3-LEB

ALTO

Pioneering facility for photofission

- Comparable to ISOLDE for ^{132}Sn when using p beam on n converter ($\sim 10^7\text{pps}$)

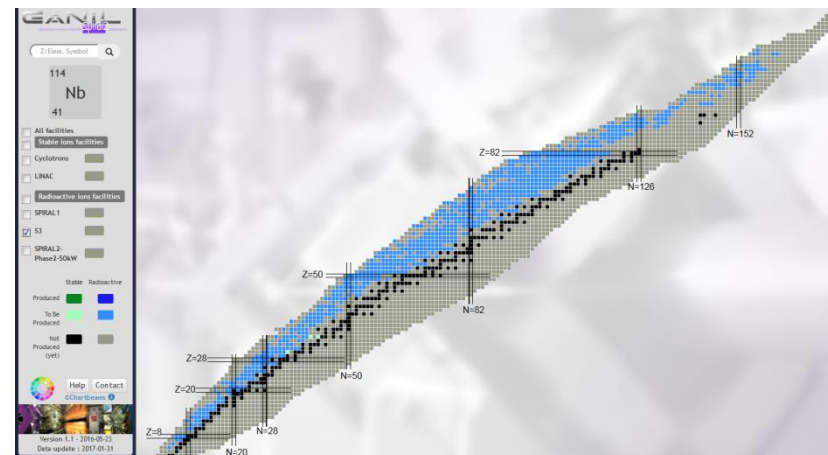


SPIRAL 1

ISOL facility with very intense beams from fragmentation

- $A < 80$:
 - Unequalled intensities for some beams
 - competitive yields for others
 - Interesting estimates from the upgrade
- $A > 80$: Interesting estimates using fusion-evaporation reactions, with a possibility of reacceleration

S3

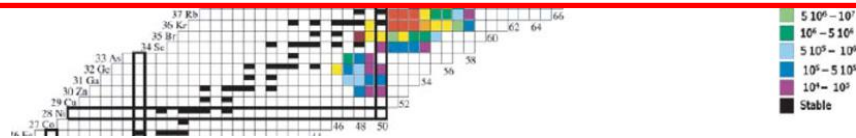


Production at ALTO, SPIRAL 1 & S3-LEB

ALTO

Pioneering facility for photofission

- Comparable to ISOLDE for ^{132}Sn when using p beam on n converter ($\sim 10^7\text{pps}$)



SPIRAL 1

ISOL facility with very intense beams from fragmentation

- $A < 80$:
 - Unequalled intensities for some beams
 - competitive yields for others
 - Interesting estimates from the upgrade
- $A > 80$: Interesting estimates using fusion-evaporation reactions, with a possibility of reacceleration

S3

Facility with unique perspectives for fusion evaporation reactions

- Projected yields are unique for $N=Z$ nuclei
- Projected yields are very competitive for Superheavy nuclei

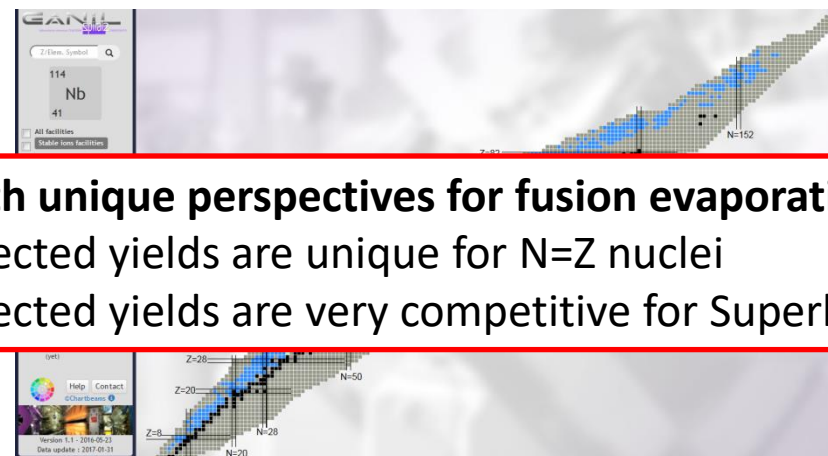


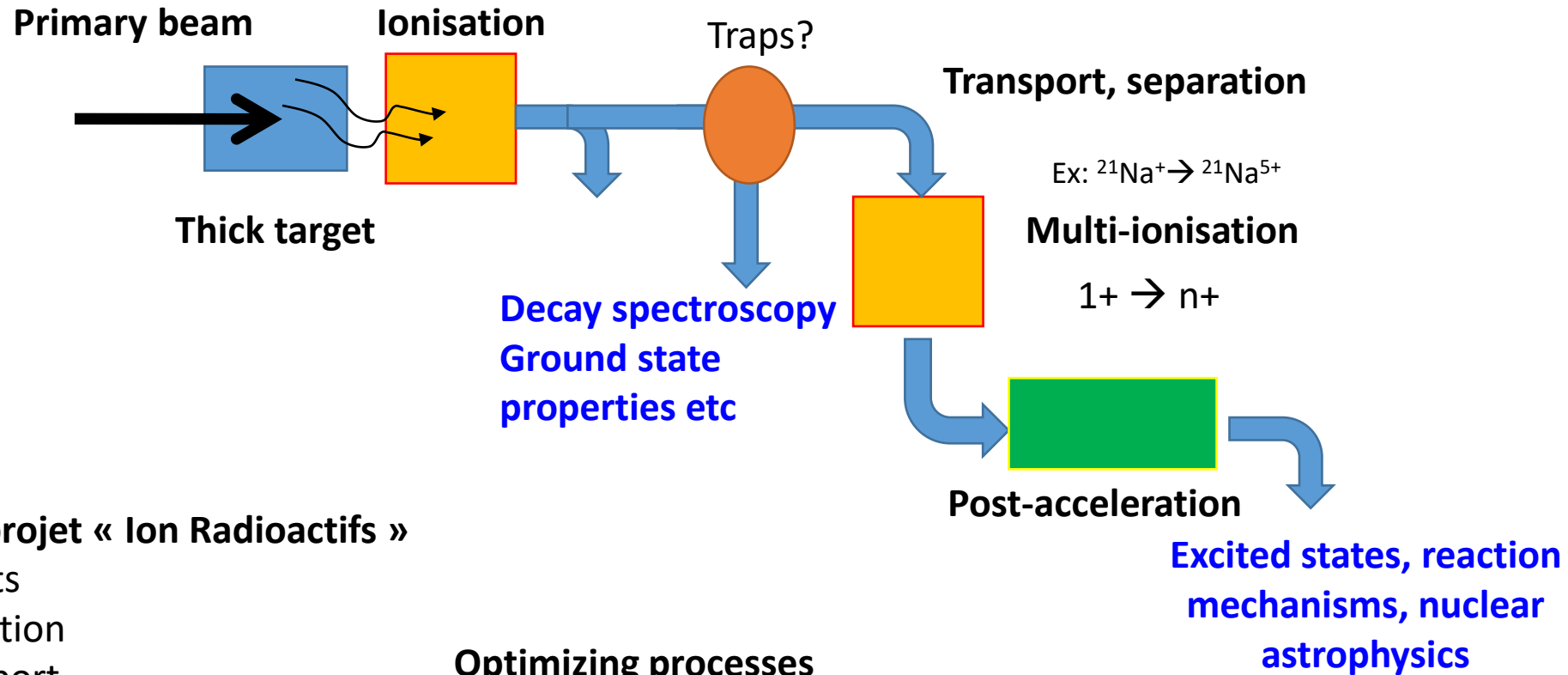
Table of content

- Radioactive ion beam facilities in France
- **Brief overview and highlights of projects**
 - UCx targets for fission at ALTO – The « STUC » project
 - Fusion evaporation target ion sources at GANIL – SPIRAL 1 - The « TULIP » project
 - Ionisation at GANIL and ALTO in FEBIAD sources
 - Laser Ionisation at ALTO « RIALTO »
 - Optimization of transport at IPHC
 - Charge breeding optimisation at LPSC and GANIL
- Schedule, outlook

ISOL beam production

Ex: 1.5 kW ^{36}Ar @ 95A MeV (GANIL)
1.4-2 GeV p (ISOLDE)

Ex: $^{21}\text{Na} \rightarrow ^{21}\text{Na}^+$



Master projet « Ion Radioactifs »

- Targets
- Ionisation
- Transport
- Charge breeding

Optimizing processes

- Rapidity ($T_{1/2}$ down to a few ms)
- Efficiency
- Selectivity for beam purity

...

Liste des membres du projet : J. Guillot (IJCLab), B. Roussière (IJCLab), JF Ledu (IJCLab), S. Tusseau-Nenez (Polytechnique)

UCx: cibles de production de fragments de (photo)fission à ALTO



J. Guillot et al.

Objectif technique:

- Améliorer les productions des cibles conventionnelles
 - substituer l'UC₂ par de l'UC
 - remplacer la matrice excédentaire de carbone par du nitrure de bore
- Étude du relâchement des alliages denses en uranium
 - UC₂, UB₂, UBC, UC

Objectif scientifique:

Cette R&D a pour objectif de répondre à plusieurs questions :

- Quelle structure cristalline de l'UC, l'UC₂... **permet de mieux diffuser les éléments radioactifs ?**
- Quelle est l'**influence de l'effusion** : le produit de fission a-t-il une interaction chimique avec son environnement « en excès » (carbone ou nitrure de bore) ?

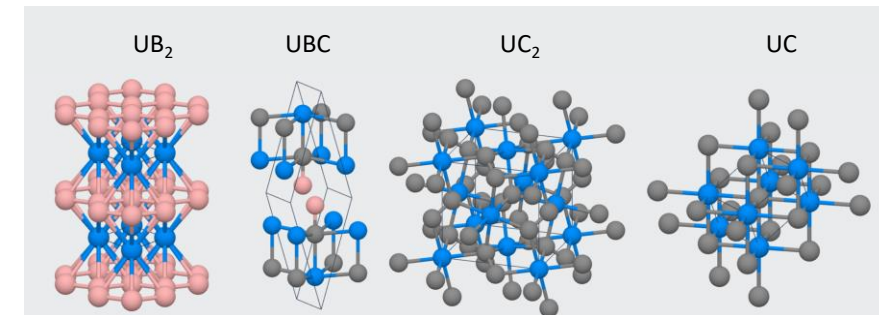
1- Mélange de la poudre d'UC avec du BN et étude de sa stabilité à 1800 °C :

(But: Améliorer les productions des cibles conventionnelles)

2- Synthèse de différents alliages d'uranium (UC, UBC, UB₂ et UC₂):

(But: Etude de l'influence de la densité des alliages d'uranium sur le relâchement des produits de fission)

} ongoing



Calendrier :



P. Jardin, M. MacCormick et al.

NEWS GANIL 4 Mai 22

GANIL/SPIRAL1

Projet TULIP :

Premiers résultats très encourageants

^{76}Rb : $3,8 \cdot 10^3$ pps

^{78}Rb : $5,8 \cdot 10^4$ pps

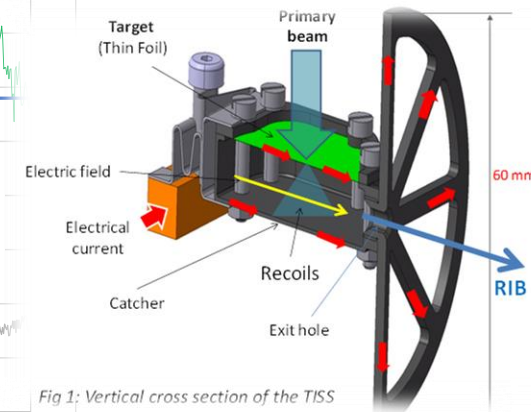
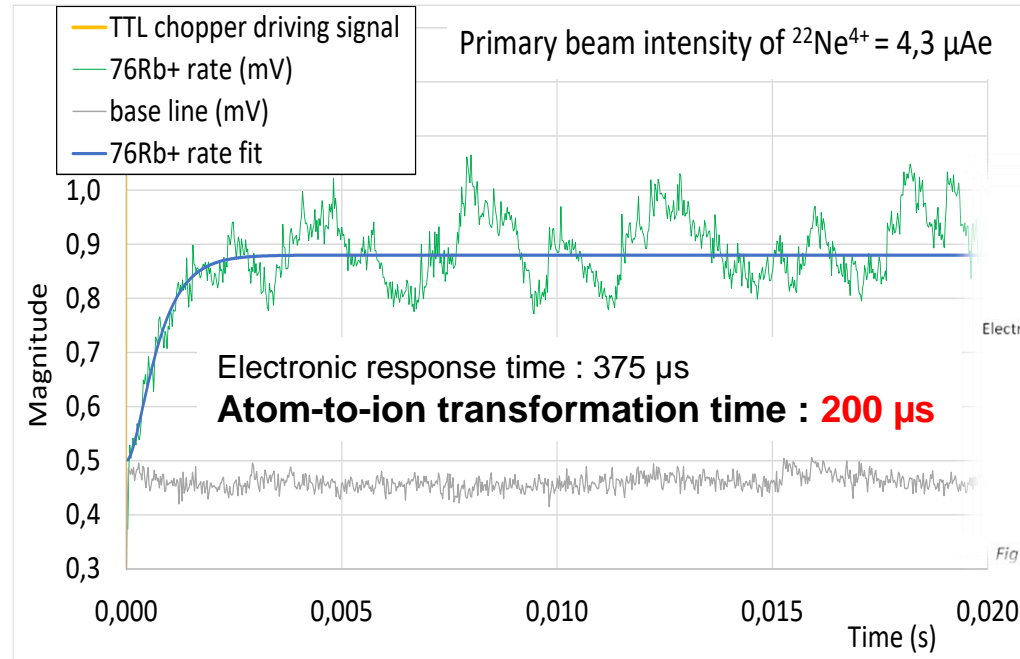
2023

^{76}Rb , ^{78}Rb : X10 facteur d'amélioration des intensités

^{74}Rb : Mesure du taux de production

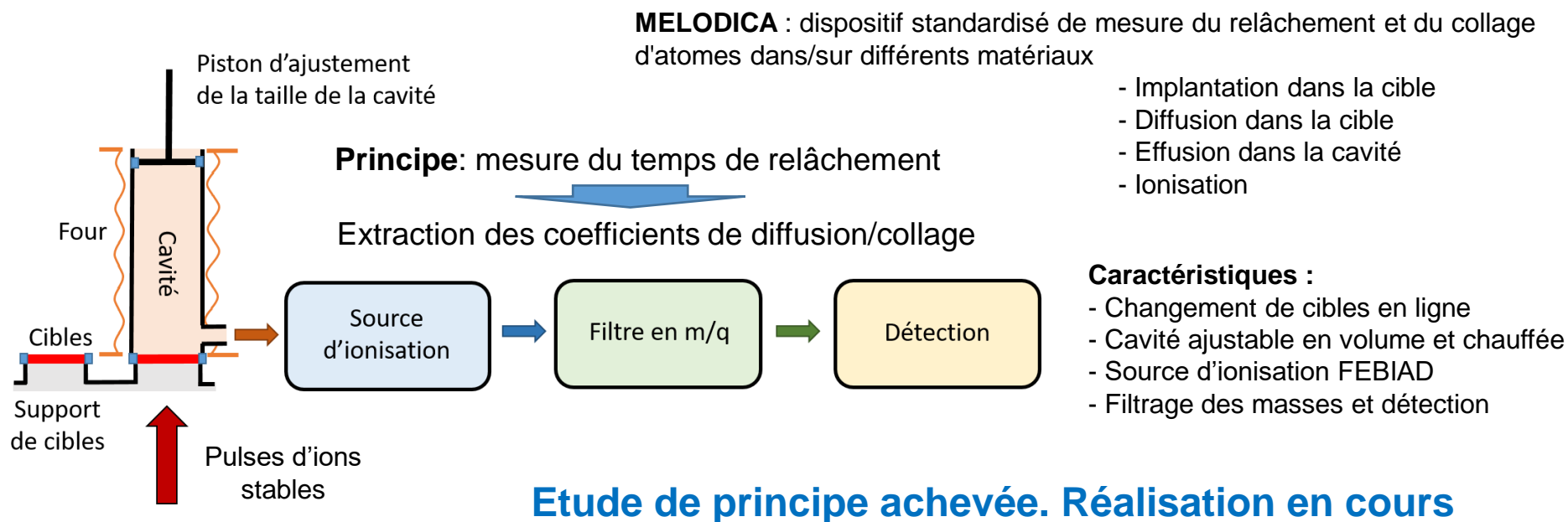
2024-...

Mesure de taux des métalliques autour de ^{100}Sn , utilisant le système « SPEED »



Article en cours de relecture

MEsure en Ligne de cOefficients de Diffusion et de temps de Collage Atomique

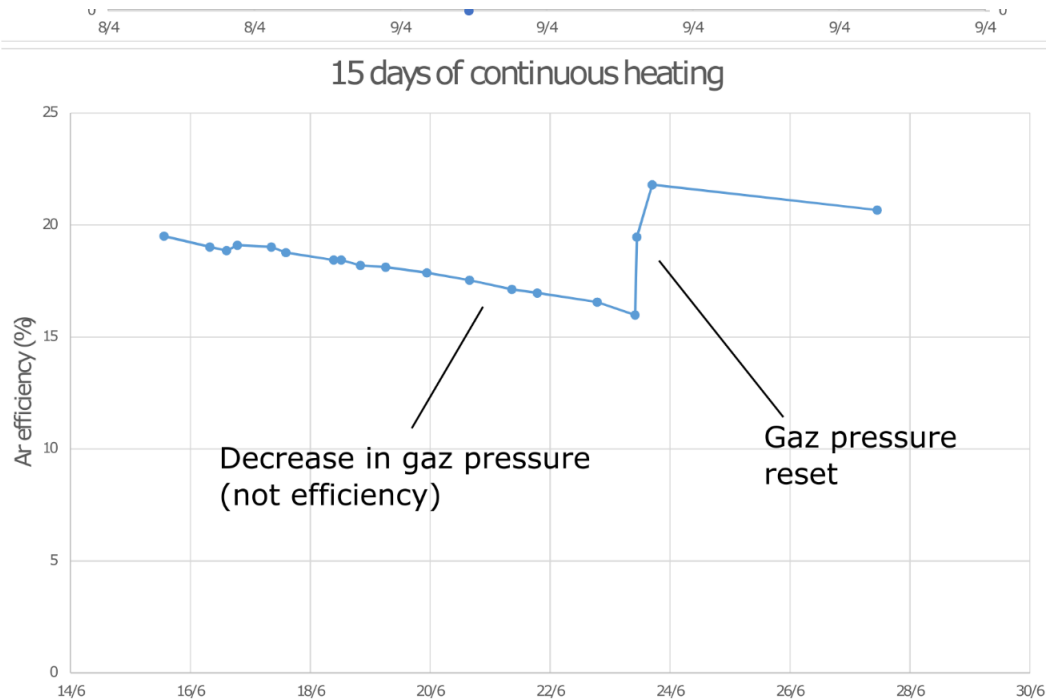


Cible-source FEBIAD

Upgrade de ECS FEBIAD de SPIRAL1 pour la production d'ions radioactifs métalliques P. Jardin, P. Chauveau et al.



2020-2021: Efficacité de l'ion de référence (Ar+) augmentée, de ~5% à 20% pendant 15 jours



Prochaines étapes : ECS sur mesure (2023-...)

- Utilisation d'autres faisceaux primaires
- Couplage à d'autres cibles (géométrie, matériau)

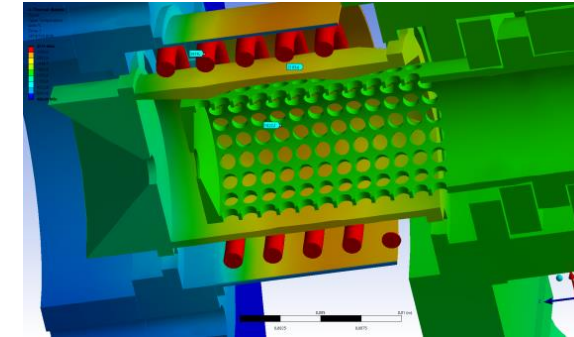
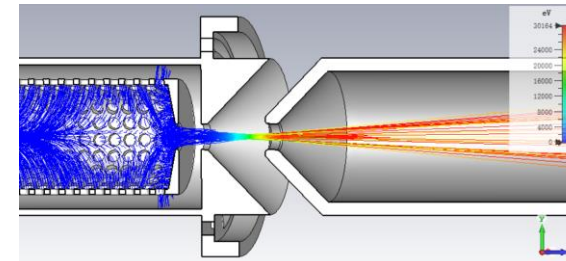
Source FEBIAD à émission électronique radiale



M. Cheikh Mahmed



Ionisation par impact électronique (famille des FEBIAD) & émission radiale des électrons



➤ Qualification prototype 3 : 2023-2024

Si tests hors-ligne concluants → Tests en ligne ALTO → Mise en exploitation

➤ R&D IRENA 3: 2024- ...

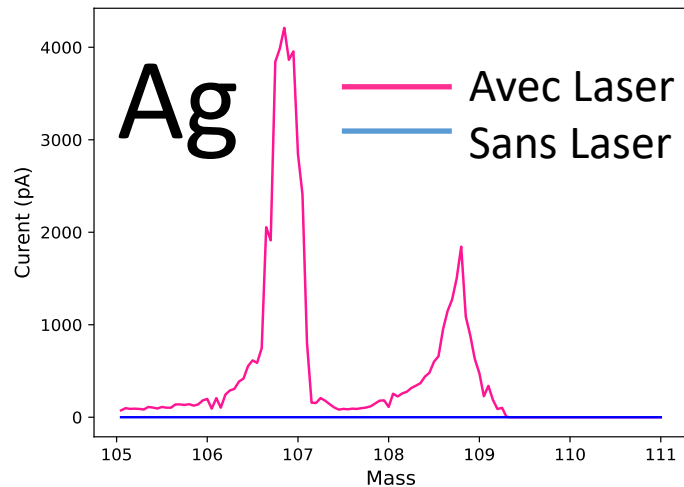
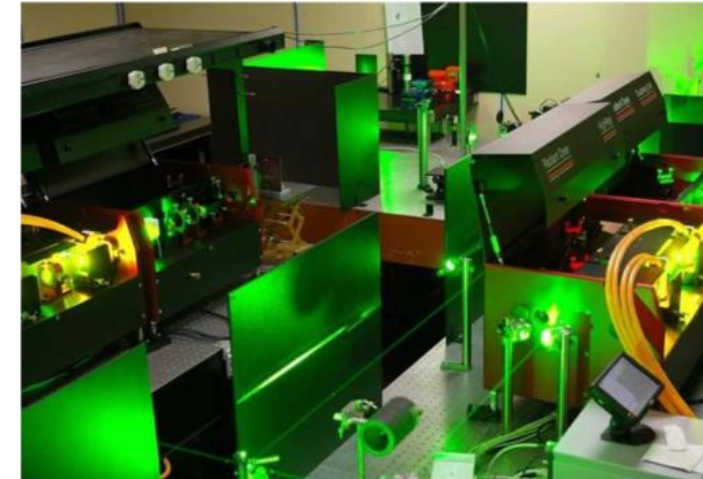
- Couplage avec la source Laser :
- Mieux contrôler le processus d'ionisation :
 - simulations du plasma (collab. Université des sciences et technologies de Chine)
 - Mesures indirectes, hors-ligne, des paramètres plasma pertinents

RIALTO : Ionisation Résonante Laser sur ALTO

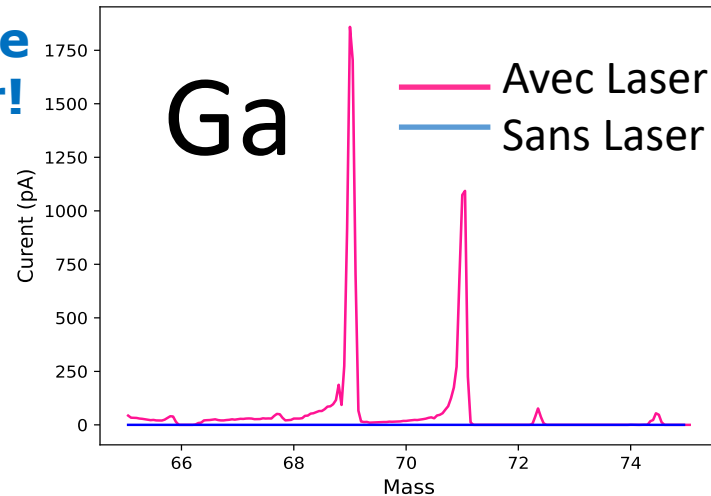
MP : Ions Radioactifs, Fiche projet : SOLAIRE, DAS : Arnaud Lucotte

RIALTO : source laser haute efficacité :
Efficacité Ga : 42 x ionisation de surface
Efficacité In : 50 x ionisation de surface

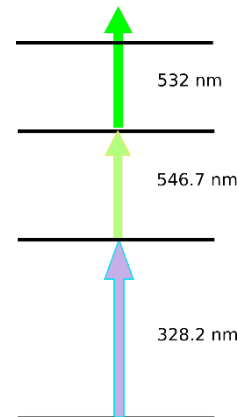
F. Le Blanc et al.



**escamotage
d'un miroir!**



- Ag : - mise au point schéma
- **ionisation laser sur ALTO**
- Stabilisation position 2 faisceaux
- Préparation run Ga, Ag : **passage d'un schéma d'ionisation à l'autre sans aucun réglage.**



**Manip en ligne Ga et Ag
Octobre 2022 (thèse A.
Segovia et G. Tocabens)**

**2023 : développement
faisceau Zn et Sb
(triplage en fréquence
délicat)**

Enjeux

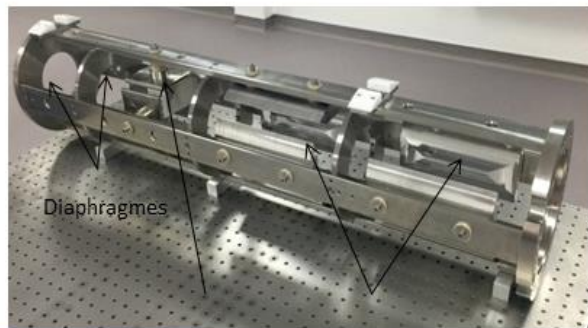
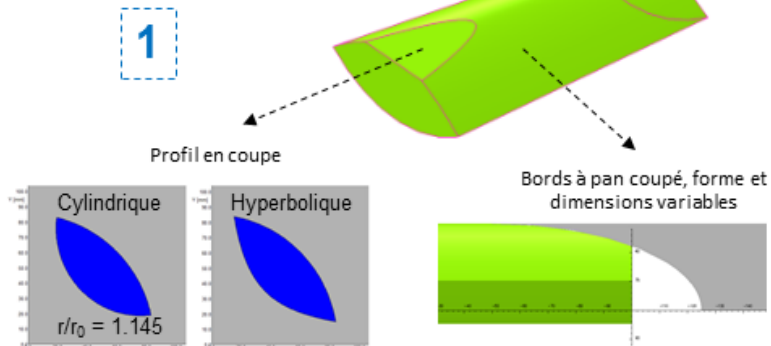
Transport de faisceaux radioactifs à faible perte et forte acceptation → dépasser les limites actuelles
Augmenter la transmission et limiter l'augmentation d'émission (emittance growth)

Applications

Lignes de transport de faisceaux radioactifs, faisceaux primaires de forte puissance, anneaux de stockage, accélérateur miniature, etc. (voir liste en annexe)

F. Osswald et al.

Modification semi-empirique et itérative des formes géométriques

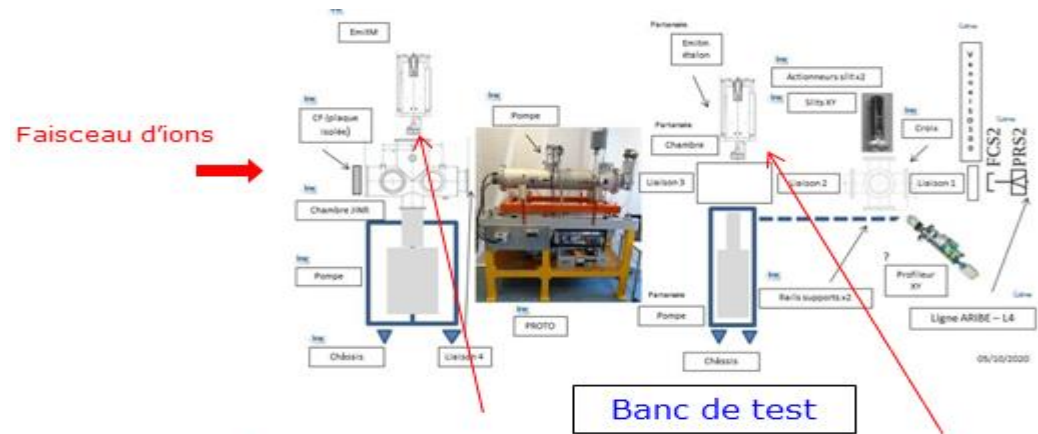


Structure optique interne

Déviateurs

Quadrupôles

Prototype de quadrupole testé à ARIBE, GANIL

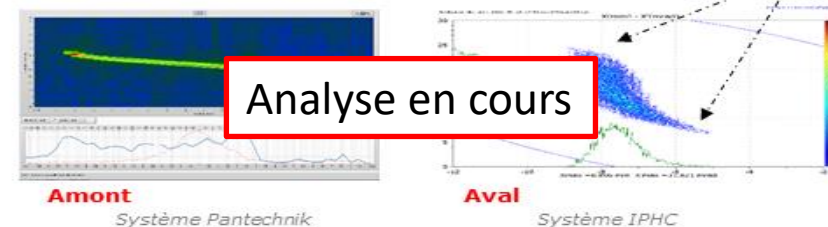


Émission mètre de référence amont

Émission mètre de qualification aval

Ligne ARIBE au CIMAP/GANIL

Aberrations optiques et filamentation de l'émission



Charge breeding

Source ECR 1+ → n+

- Amélioration des performances (efficacité, rapidité, pureté, états de charge)
- Etudes des plasmas ECR (temps de confinement, densité électronique...)
- Exploitation d'un Booster de charges ECR sur la ligne SPIRAL1

J. Angot,
L. Maunoury,
P. Chauveau

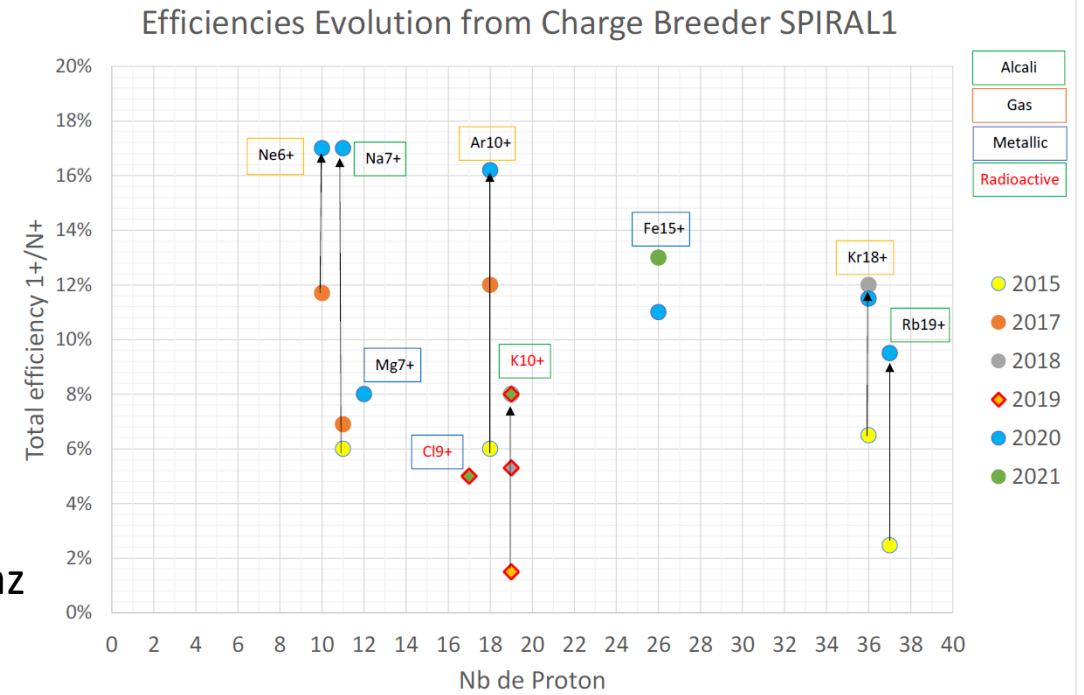
Charge breeder de Spiral1



Charge breeder du LPSC



Amélioration continue des efficacités à SPIRAL 1



Nombreuses études et papiers

- **Performances boosters**
 - Efficacité, stabilité du plasma vs paramètres magnétiques, RF, gaz
 - Processus de capture vs paramètres ligne, faisceau moléculaire
 - Pureté du faisceau, collaboration avec LNL
- **Etude du plasma ECR**
 - Faisceau 1+ pulsé: temps caractéristiques, densité et température électronique – collaboration LPSC GANIL RAL JYFL

Table of content

- **Radioactive ion beam facilities in France**
- **Brief overview and highlights of projects**
 - UCx targets for fission at ALTO – The « STUC » project
 - Fusion evaporation target ion sources at GANIL – SPIRAL 1 - The « TULIP » project
 - Ionisation at GANIL and ALTO in FEBIAD sources
 - Laser Ionisation at ALTO « RIALTO »
 - Optimization of transport at IPHC
 - Charge breeding optimisation at LPSC and GANIL
- **Schedule, outlook**

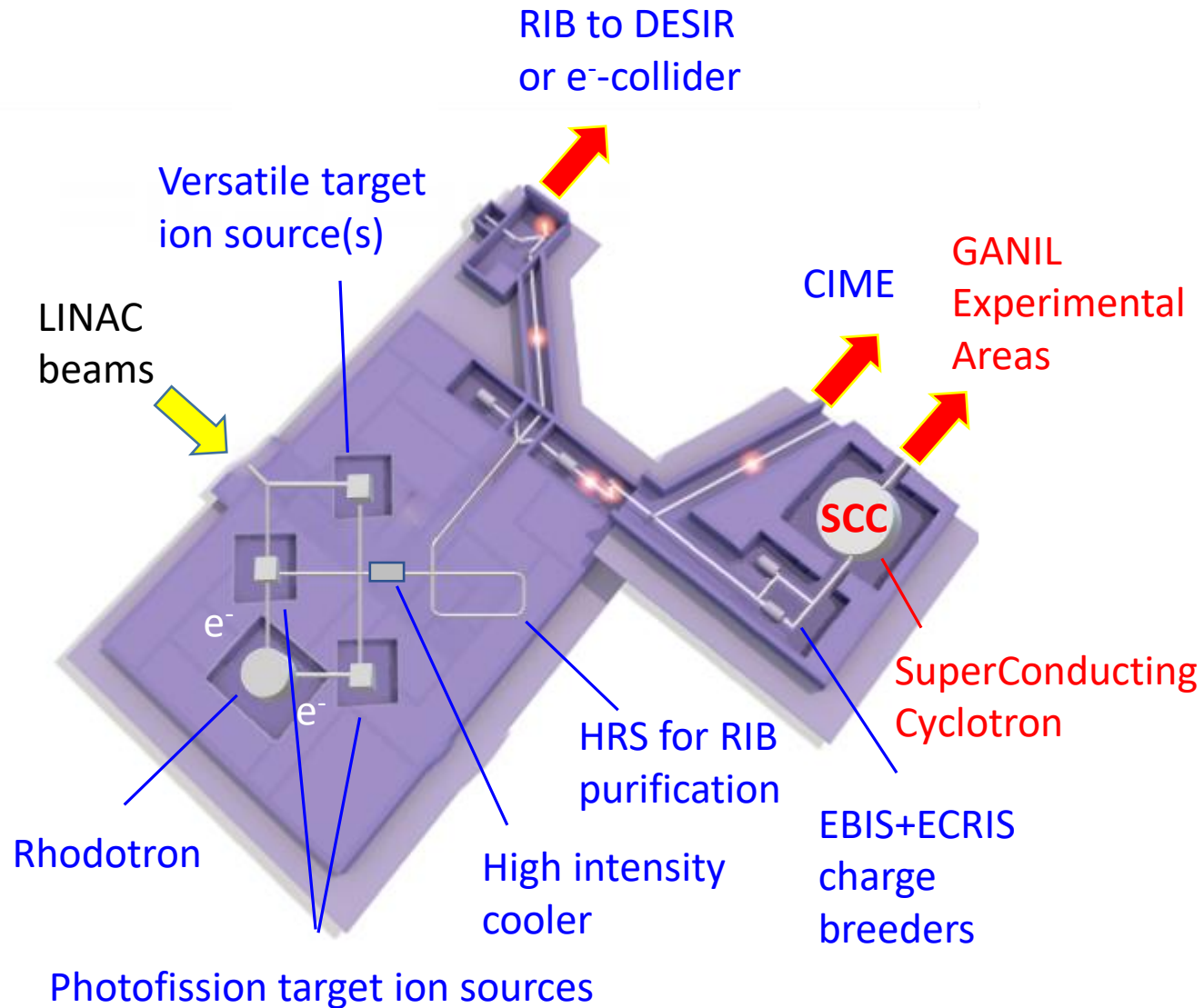
Overview of projects

	2022	2023	2024	2025 -....
Targets				
STUC	target synthesis (UC/UBC/UB2/UC2)	Release tests	Analysis and modelisation	
TULIP	First tests 76Rb / 78Rb	74Rb with improved system	SPEED for metallic elements	Production of isotopes towards 100Sn
FEBIAD GANIL	Improved reliability and efficiency	Tests with other beams	Tests with other targets (geometry, material)	
Sources				
IRENA	Design 3rd prototype	Off-line and on-line tests	R&D with lasers and molecular beams, plasma simulations	
RIALTO	Ag + Ga ionisation	UV+ green pump laser. Zn ionisation	Ge ionisation	C&C upgrade. Pm ionisation.
Transport	Analysis ongoing			
Charge breeding	Most efficiencies SP1 >10%	control of CSD with double frequency heating, beam purification, plasma studies		
	ongoing activities			
	Project expected end = technique is operational or analysis is done			

Some projects will end, others will start

These projects have already yield a number of **quantifiable results!** **New or better beams for ALTO and SPIRAL 1**
They are also **preparing the future of our radioactive ion beam facilities**

Future of GANIL and « comité SPIRO »



A new production building for 2 ambitious facilities complementing GANIL

- a reaccelerator to >50 AMeV
- an electron- RIB collider

Thanks a lot for your attention!

Special thanks to J. Guillot, P. Jardin, P. Chauveau, M. Cheikh Mahmed, F. Leblanc, N. Lecesne, F. Oswald, J. Angot and L. Maunoury, and the participants to the Master Projet « Ions Radioactifs »