

Observables et outils de mesure dans les expériences ISOL de basse énergie

Installations européennes présentes et futures et leurs caractéristiques

Manipulation des ions : purification, piégeage

Spectroscopie de masse

Spectroscopie laser

Mesures de décroissance

P. Delahaye

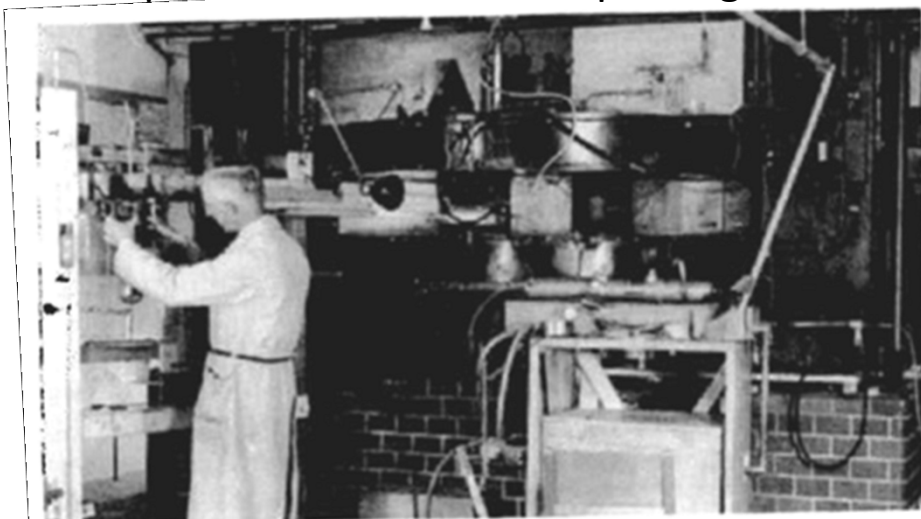
Conseil scientifique de l'IN2P3, "*Physique Nucléaire sur les installations de type ISOL : propriétés fondamentales du noyau*"

26 Octobre 2017

Méthode Isotope Separation On-Line

- Un faisceau primaire irradie une cible épaisse, ou un convertisseur n/ γ
- Les produits de réaction diffusent du matériau cible et effusent vers la source
- Après ionisation et post-accélération les produits de réaction sont séparés

Expérience séminale à Copenhague en 1951

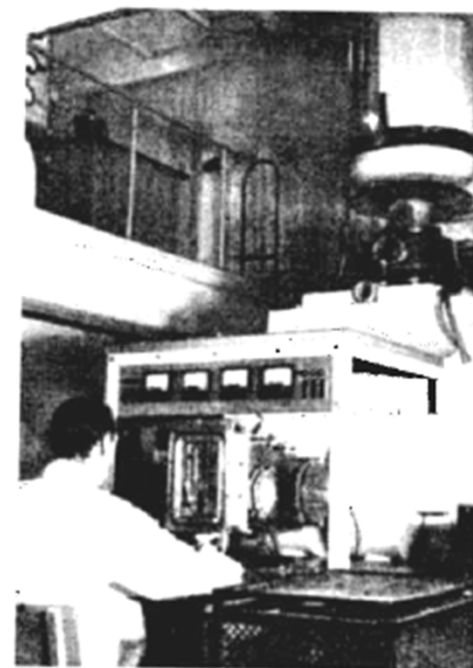


The NBI cyclotron around the time of the experiment. The person is the head of the cyclotron group, Professor J.C. Jacobsen.

P. G. Hansen, Nuclear Physics News 11, n°4

d@11 MeV sur une cible de Be
10 kg UO₂ (!)

Niels Bohr Institute
O. Kofoed – Hansen
K. Ove Nielsen



The NBI isotope separator in 1951. The elements are the high-voltage terminal and ion source (top), the analyzing magnet (behind), and the dispersion chamber with the collector slit used in the experiment (in front).

Recherche des ions de recul à la recherche du neutrino – Kr riches en neutron

Premier observable et outil de mesure: le FAISCEAU RADIOACTIF!

Schéma d'une installation Isotope Separation On-Line

- Méthode Isotope Separation On-Line

Ex: 1.5 kW ^{36}Ar @ 95A MeV (GANIL)
1.4-2 GeV p (ISOLDE) Ex: $^{21}\text{Na} \rightarrow ^{21}\text{Na}^+$

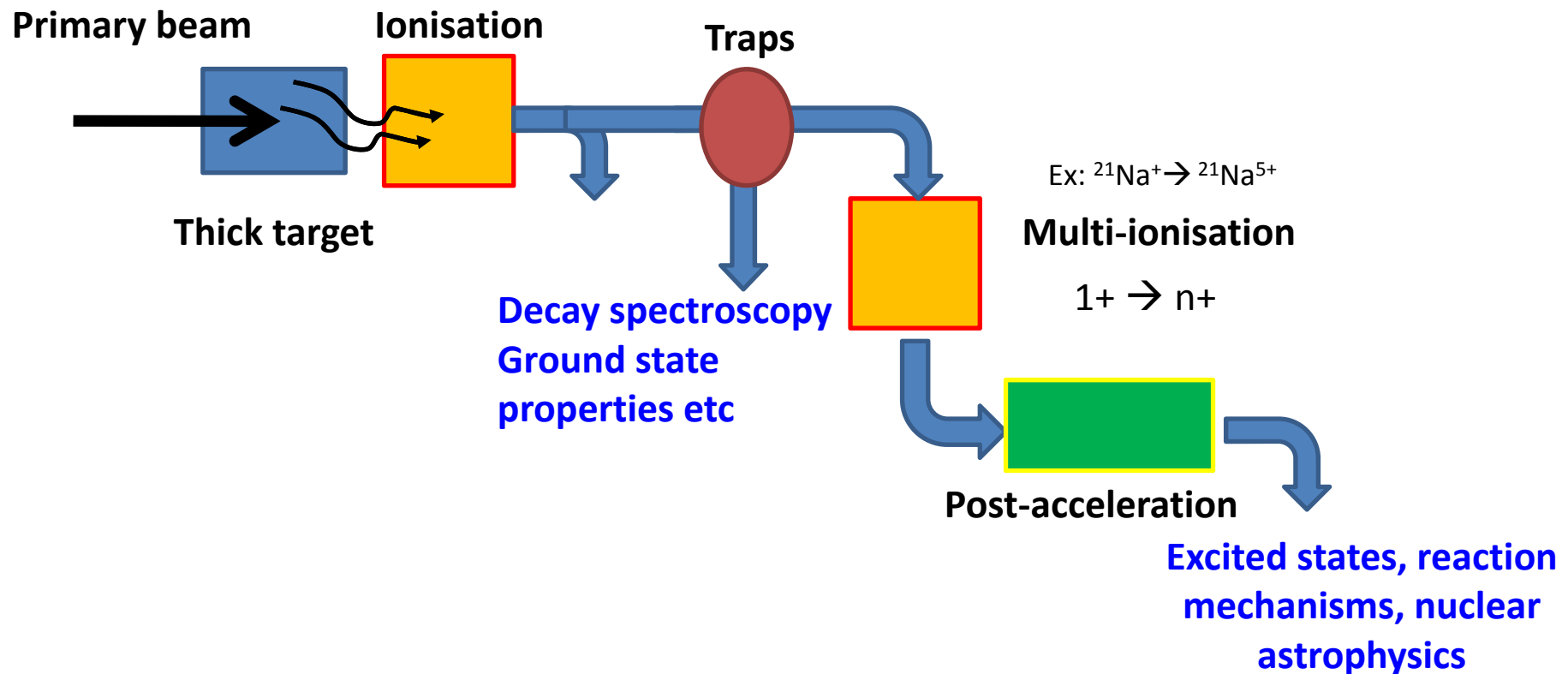


Schéma d'une installation Isotope Separation On-Line

- Méthode Isotope Separation On-Line

Ex: 1.5 kW ^{36}Ar @ 95A MeV (GANIL)
1.4-2 GeV p (ISOLDE) Ex: $^{21}\text{Na} \rightarrow ^{21}\text{Na}^+$

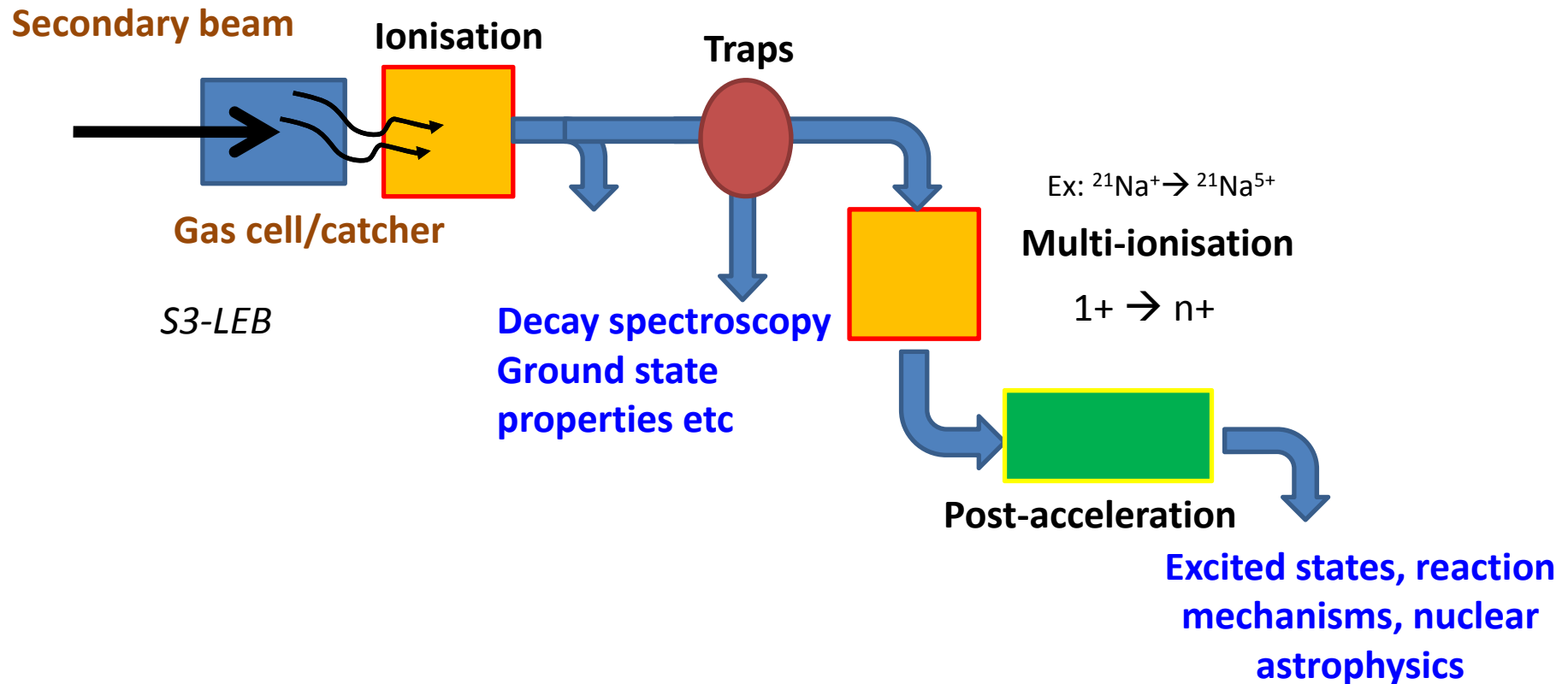


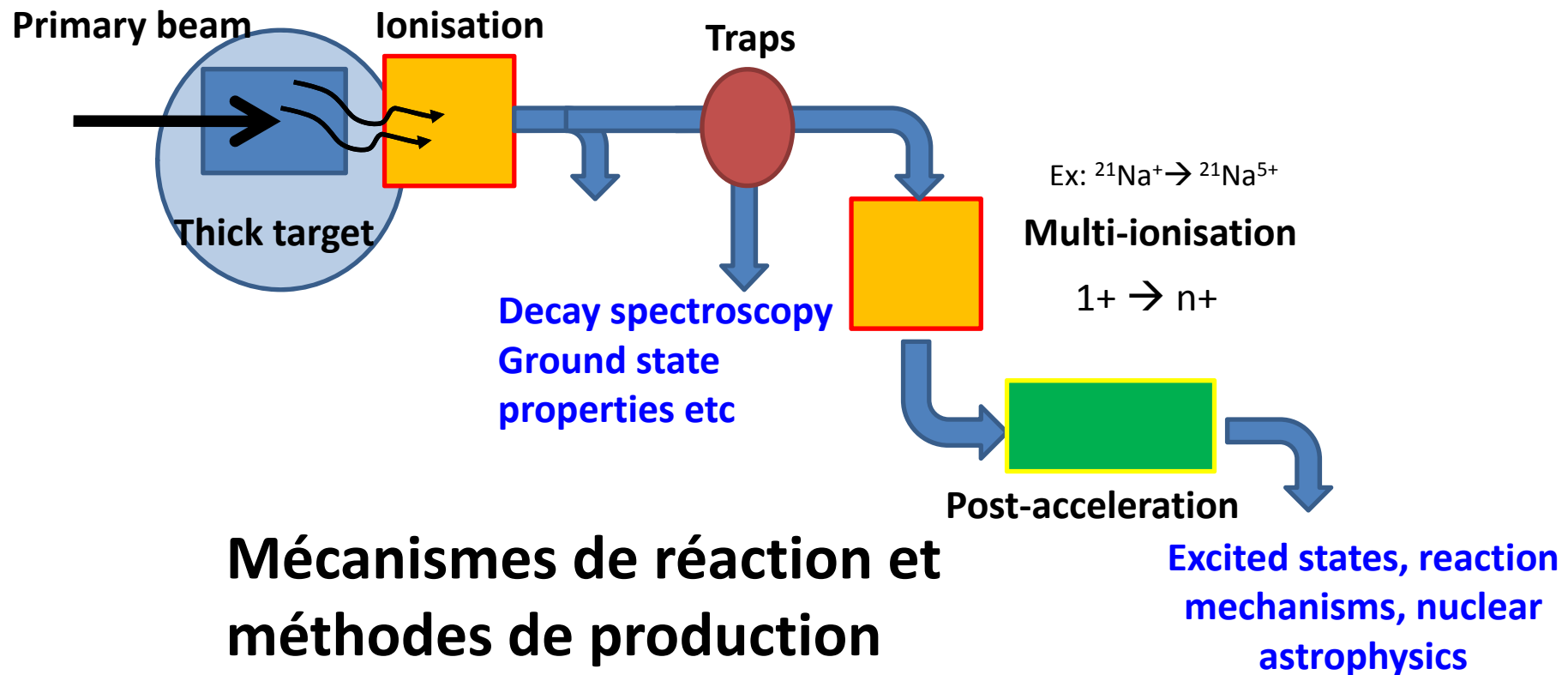
Schéma d'une installation Isotope Separation On-Line

- Méthode Isotope Separation On-Line

Ex: 1.5 kW ^{36}Ar @ 95A MeV (GANIL)

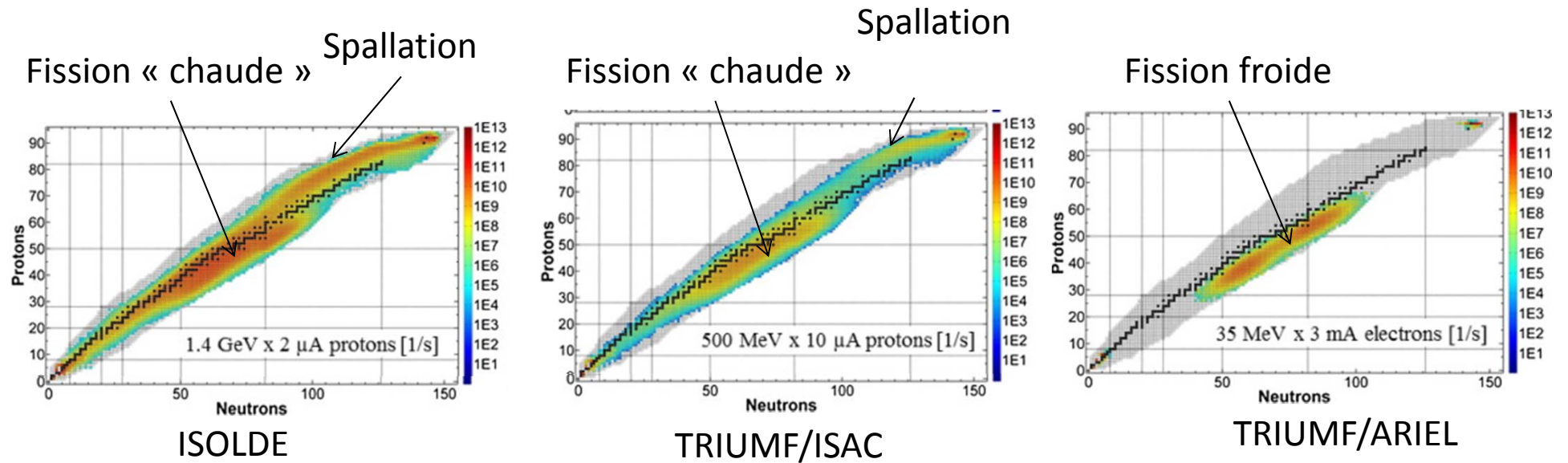
1.4-2 GeV p (ISOLDE)

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



Mécanismes de réaction

- ISOLDE, TRIUMF/ISAC et ARIEL
 - Taux de production dans la cible UCx, calculs FLUKA

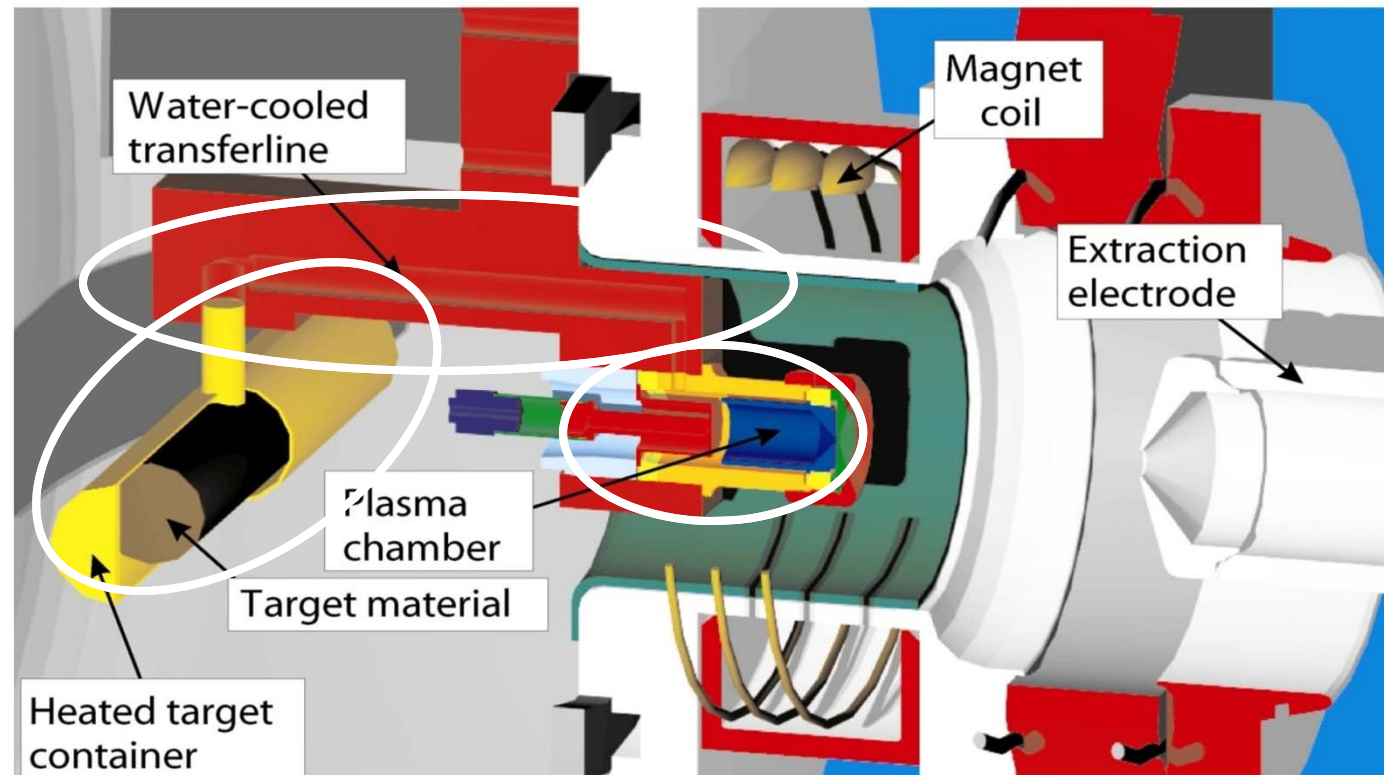


A. Gottberg, Proceedings of the EMIS 2015 Conference, NIMB 316

Rôle de la diffusion, effusion et ionisation

- ISOLDE

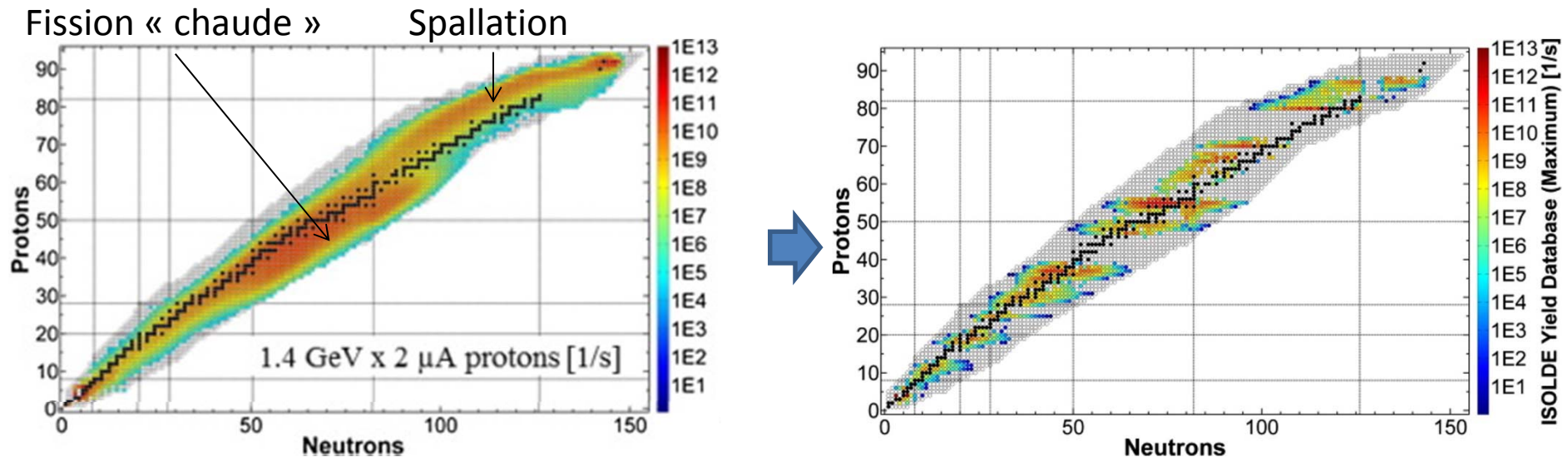
- Temps de réponse: diffusion et effusion
- Efficacité d'ionisation/formation de molécule



Rôle de la diffusion, effusion et ionisation

- ISOLDE

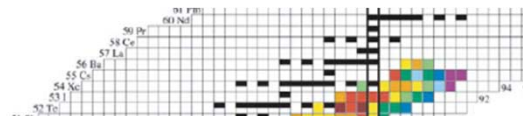
- Temps de réponse: diffusion et effusion
- Efficacité d'ionisation/formation de molécule



Challenges: produire des éléments chimiques réfractaires/isotopes de temps de vie courts

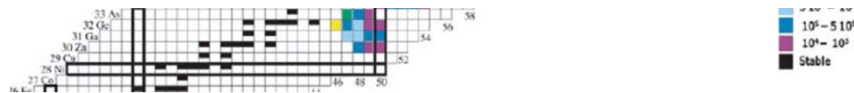
Production à ALTO, SPIRAL & S3-LEB

Photofission à ALTO



Installation pilote pour la photofission

- Taux comparable à ISOLDE pour ^{132}Sn avec faisceau sur convertisseur (qq 10^7 pps)



Fusion à S3



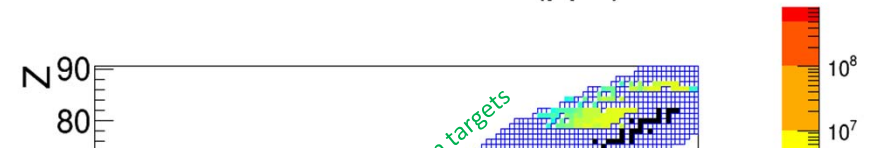
Installation unique pour les réactions de fusion et transferts

- Taux inégaux pour les $N=Z$
- Taux inégaux pour superlourds



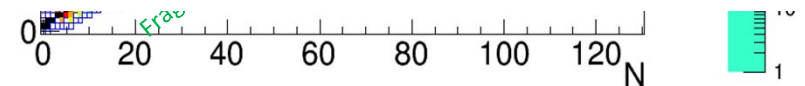
SPIRAL 1

1+ beam intensities (pps)



Installation unique pour les réactions de fragmentation, faisceaux légers

- Taux très compétitifs / inégaux pour les ions légers ($A < 80$)
- Taux compétitifs de fusion évaporation, faisceaux réaccélérés

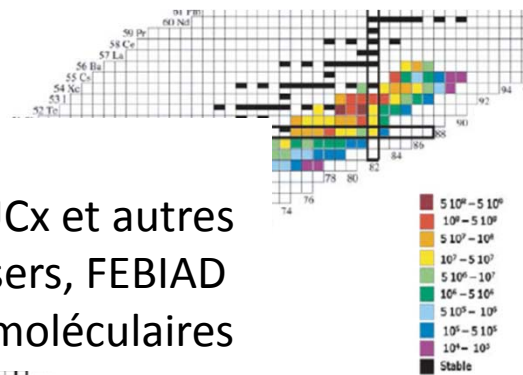
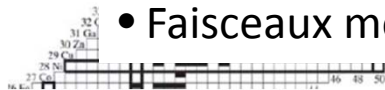


Production à ALTO, SPIRAL & S3-LEB

Photofission à ALTO

R&D sur

- Les cibles UCx et autres
- Sources lasers, FEBIAD
- Faisceaux moléculaires



Fusion à S3



R&D sur

- les méthodes de cellule gazeuse
- la spectroscopie laser en jet



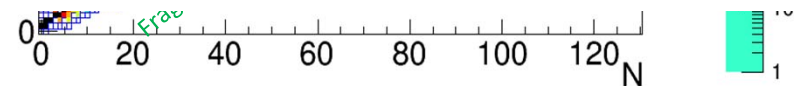
SPIRAL 1

1+ beam intensities (pps)



R&D sur

- Les cibles de fragmentation
- Les cibles de fusion évaporation avec le concours de l'IPNO
- Les sources FEBIAD, ECR et ionisation de surface



R&D dans le Master projet ions radioactifs

R&D conduite au sein de collaborations européennes dans le cadre de ENSAR2



Cibles de fusion evaporation



Accéder à des isotopes de courts temps de vie très déficients en neutron

Faisceaux ISOL sur SPIRAL 1 et ALTO

Isotopes déficients en neutrons tels que ^{74}Rb , ^{114}Cs , $N=Z$ pour DESIR, dans la liste des priorités « GANISOL »

Tests hors ligne 2017-2018

Mesures d'efficacité et de rapidité d'ionisation

Test en ligne à ALTO: 2019 -

Colla

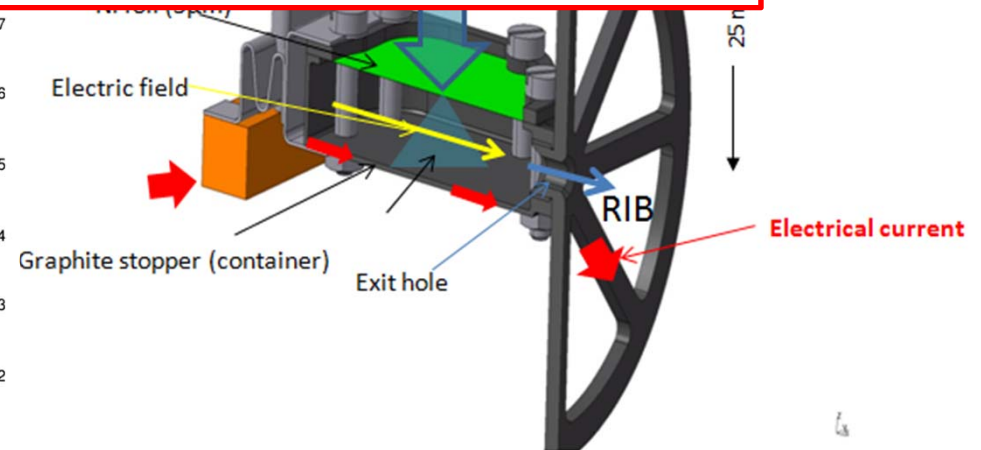
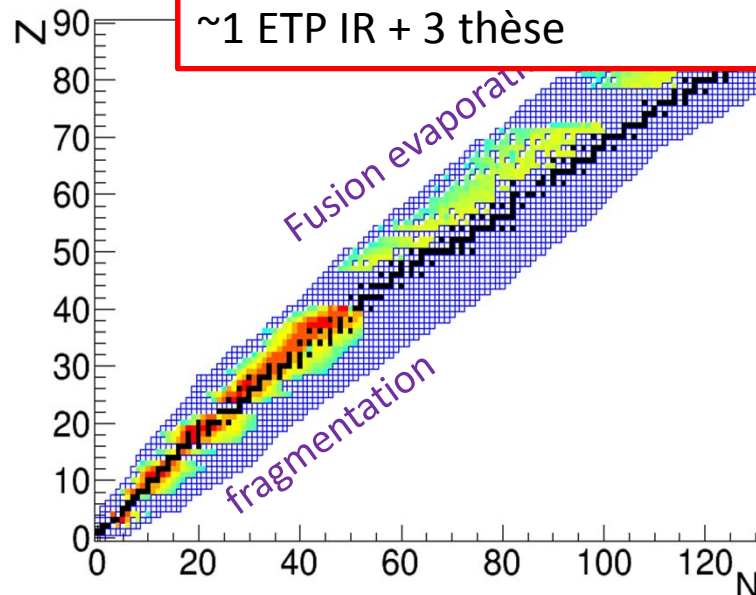
Ressources

Financement:

TGIR GANIL et IN2P3/ALTO (master projet Ions radioactifs)

ETP :

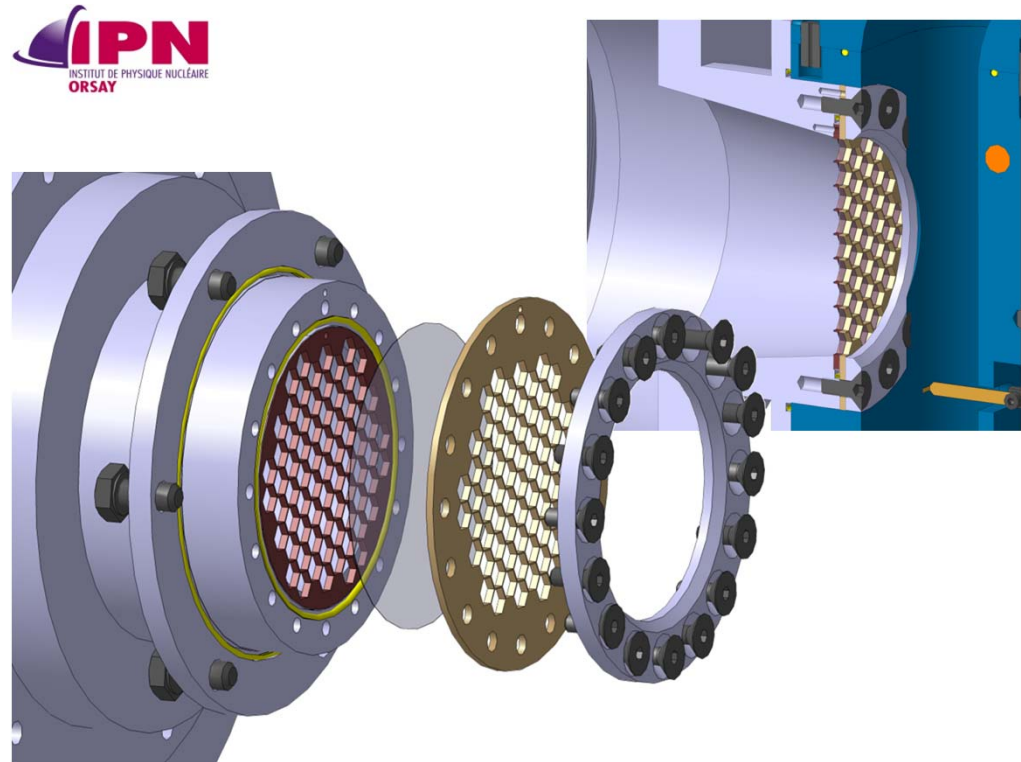
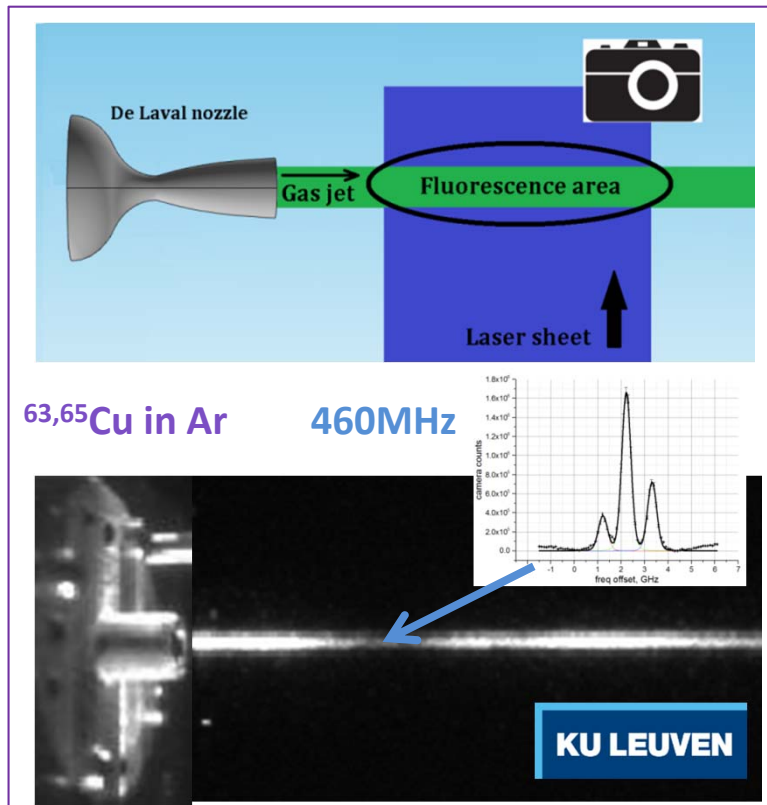
~1 ETP IR + 3 thèse



ECS fusion evaporation V. Kuchi, P. Jardin

R&D cellules gazeuses

Accéder à des faisceaux exotiques produits en jet gazeux pour leur spectroscopie laser



- Simulation géométrie et évacuation du gaz de la cellule gazeuse
- Etude du jet supersonique à Leuven => objectif : jet uniforme, quasi-parallèle
- Visualisation du gaz par méthode PLIF (Planar Laser Induced Fluorescence)
- R&D sur fenêtre d'entrée de la cellule gazeuse (IPNO)
- Dvt de nouvelles cellules (plus rapide?) → GANIL, IPNO, LPC, KU Leuven

Structures RFQ de REGLIS³ (S³-LEB)



- Spécificités:**
- pression élevée (0.1 mbar)
 - S-shape pour lasers
 - mini-RFQ pour pompage diff.
 - Filtre de masse

RFQs assembly:



Bent @76°
RFQ-Buncher

Ressources S3-LEB

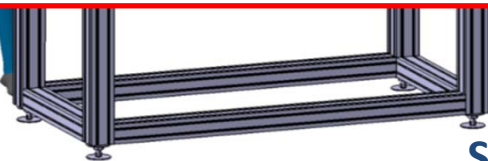
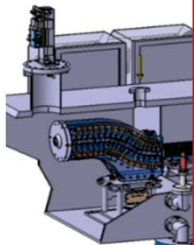
Financement:

ANR Reglis3, fonds Big Science de Belgique, IN2P3, contributions In Kind GANIL salle laser et système GISELE, KU Leuven système laser HELIOS, Universités de Manchester, Université de Jyväskylä

ETP :

2015-2019 : 35 ETP GANIL+LPC Caen+IPNO, 4 ETP IKS, 0,5 JGU, 0,5 JYU
2017-2020 : 1 post doc (ENSAR2) et Deux thésards financés par KU Leuven et IN2P3/Région Normandie

Vacuum C



Simulations: >80% transmission
(E. Traykov)

~80% transmission
with $M/\Delta M > 1000$


Premiers tests hors-ligne: 2018

Test du système gas-cell + RFQs avec Laser: 2019-2020

Observables et outils de mesure dans les expériences ISOL de basse énergie

- Observables des installations ISOL
 - **Le faisceau radioactif!**

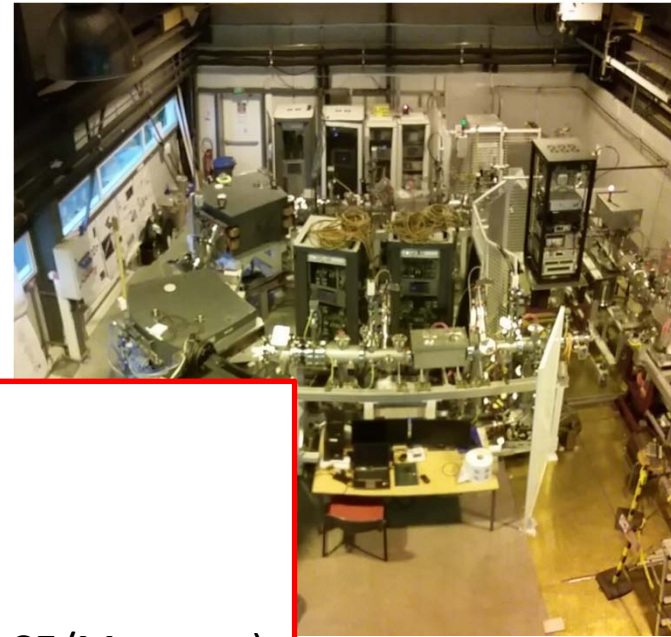
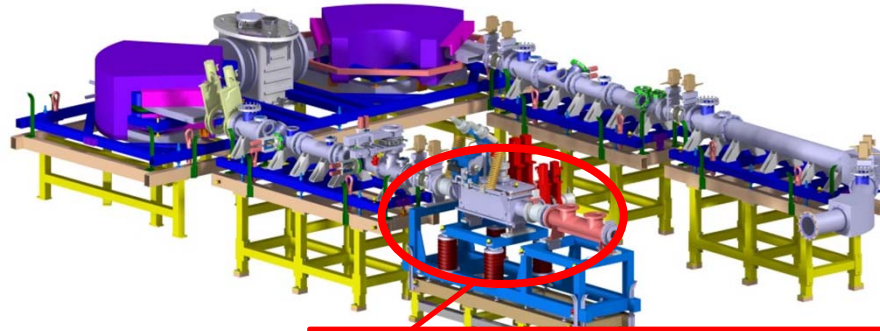
Observables et outils de mesure dans les expériences ISOL de basse énergie

- Observables des installations ISOL
 - Le faisceau radioactif!  Identifier, séparer, purifier!

Méthodes de sélection/purification

- Purification du faisceau dans l'ensemble cible source
 - Selectivité chimique: matériaux cibles et tube de transfert
 - Selectivité d'ionisation:
 - Sources d'ionisation de surface → alcalins
 - Sources plasma à parois froides → gaz
 - Sources lasers → tout les éléments sauf non métaux, halogènes et gaz rares
- Purification par les méthodes de séparation classiques
 - Dipôles magnétiques
- Purification par piégeage
 - Pièges Penning
 - Pièges électrostatiques MR ToF MS

HRS pour DESIR (faisceaux S3 et SPIRAL 1)



Ressources

Financement:

région Normandie et SPIRAL 2

ETP :

21 de 2010 à 2017 (APS/APD/DCE/Montage)

5 de 2017 à 2020



High intensity RFQ cooler@LPC Caen



Laboratoire de physique corpusculaire



Avec des faisceaux refroidis : **R~31000** (Cosy infinity)
R~20000 (objectif)

RS @CENBG

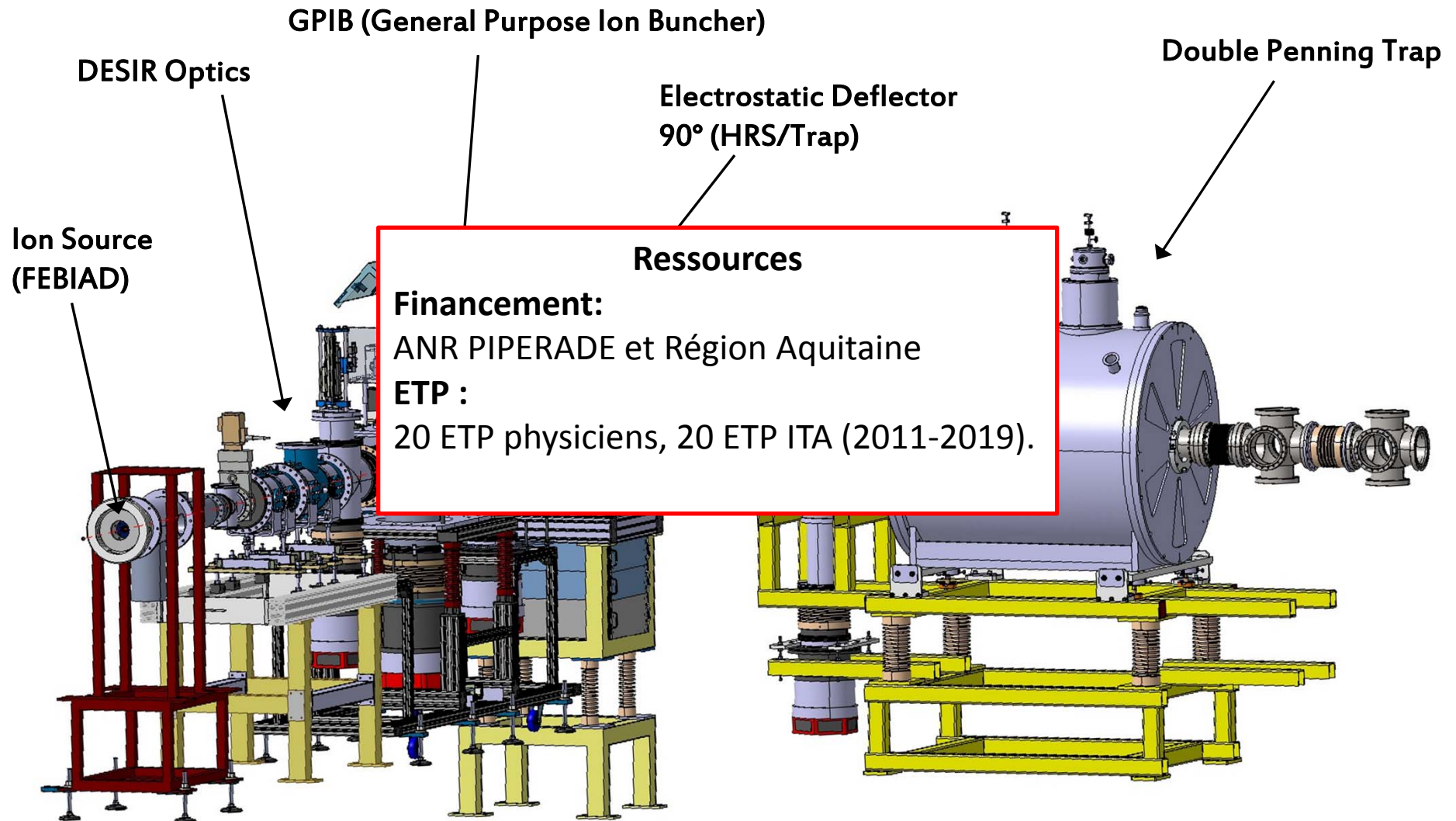


Qualification démarrée!
Complétion~2020

Limite HRS ISOLDE: R~4000

PIPERADE: RFQcb et Double Piège Penning

Purification et bunching des faisceaux pour DESIR



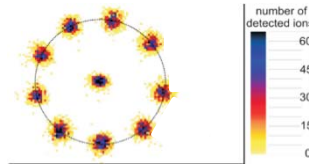
S. Grevy and coworkers

Méthodes de séparation

Not only space charge effects have to be faced, other methods have to be very fast and have to reach a very high resolving power (isomeric cleaning)

Phase splitting

- Inspired by the PI-ICR mass measurement technique (SHIPTRAP)
- Never been tested for purification
- Based on the mass separation in radial phase
- Very high rapidity ($t = 4\text{ms}$ for $R = 10^5$)
- Or very high resolution ($R = 2,5 \cdot 10^6$ for $t = 100\text{ms}$)



$$\frac{\nu_+}{\Delta\nu_+} = \frac{\pi\nu_+ t R_+}{\Delta R_+}$$

S. Eliseev et al., PRL 110, 082501 (2013)
P. Dupré, D. Lunney, IJMS 379, 33-45 (2015)

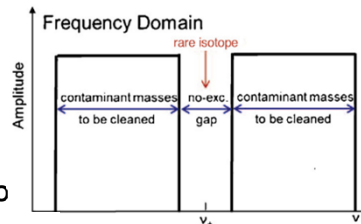
Ramsey Cleaning

- Routinely used at JYFLTRAP/IGISOL for isomeric cleaning
- Dipolar excitation at ν_+ of the contaminant using time-separated oscillatory fields
- Resolution up to $5 \cdot 10^5$ with a time excitation of the order of 100 ms

T. Eronen, NIM B 266, 4527-4531 (2008)

SWIFT Technique

- Recently used at LEBIT/MSU
- Dipolar excitation at ν_+ of all the contaminants using a specified excitation scheme in frequency space.
- $M/\Delta M$ of the order of 10^4 - 10^5 and very fast ($< 50\text{ms}$)



A. A. Kwiatkowski et al., IJMS 379, 9-15 (2015))

Others

Octupolar excitations, SIMCO Excitation , ...

S. Eliseev et al., PRL 107 (2011) 152501
M. Rosenbusch, IJMS 325-327 (2012)

All these methods will be implemented and tested at PIPERADE for a flexible purification system that can be adapted to any cases

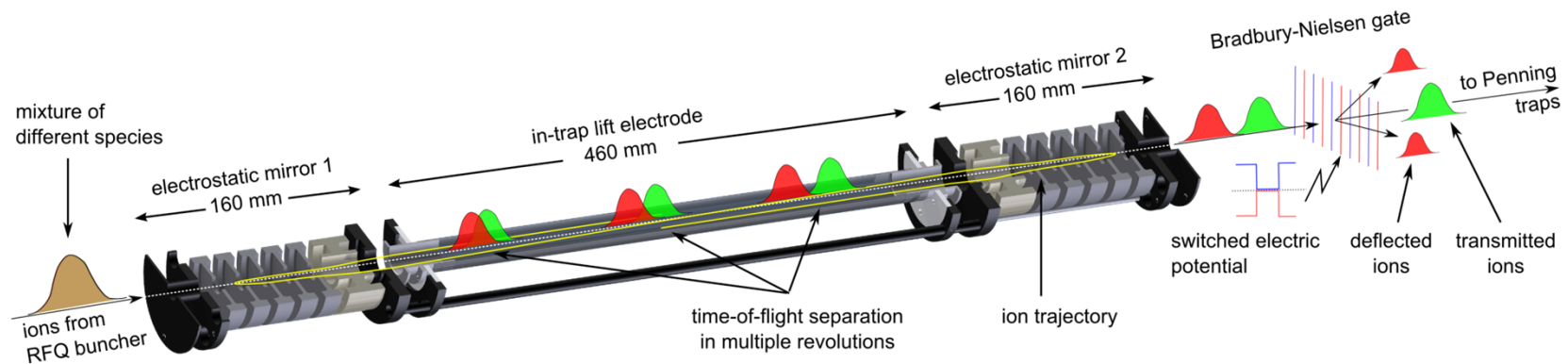
But: séparation de $\sim 10^5$ ions avec $R=m/\delta m > 10^5$

Limite actuelle $\sim 10^3$ ions
 ISOLTRAP ou JYFLTRAP

MR ToF MS

- Multi-Reflection Time of Flight Mass Spectrometer
 - Two ion optical mirrors, connected through a pulsed drift tube
 - A time of flight focus can be realized inside *or outside* the trap: the revolution time only depends on the mass and not on the energy
- ISOLTRAP MR-ToF-MS

$$R = M / \delta M = t / 2\delta t$$



Photograph Courtesy : R. N. Wolf (University of Greifswald)



MR ToF MS

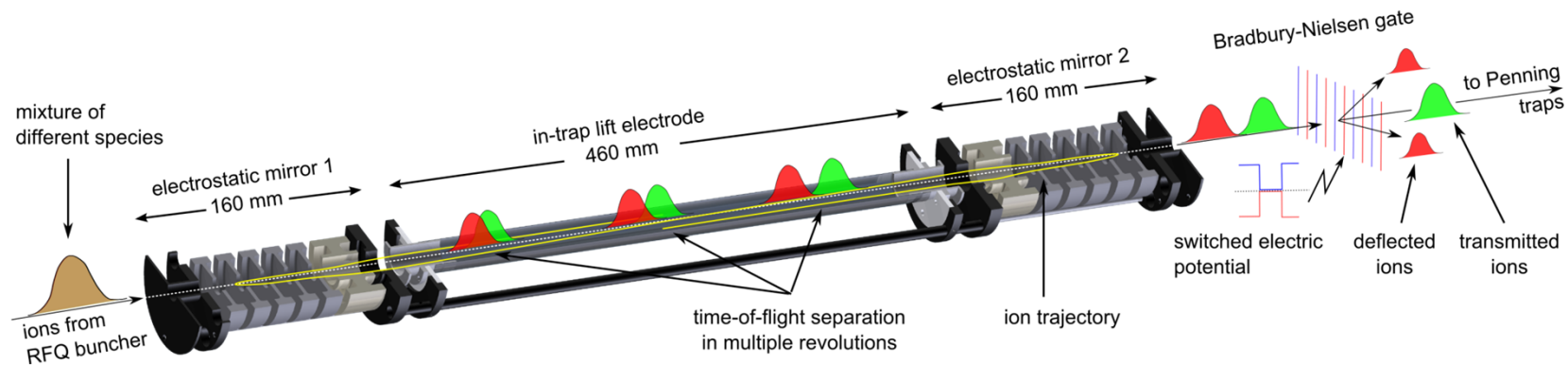
- Typical trapping time: 10 ms
 - Resolving power: up to 10^5
 - Mass measurement: $\delta m/m < 10^{-6}$
- for intensities down to fractions of pps

ISOLTRAP MR ToF MS:

R. Wolf et al., IJMS 349 (2013)123
and ref therein

$^{53-54}\text{Ca}$ mass measurements:

F. Wienholtz et al., Nature
498 (2013) 346-349



Photograph Courtesy : R. N. Wolf (University of Greifswald)

Such performances require

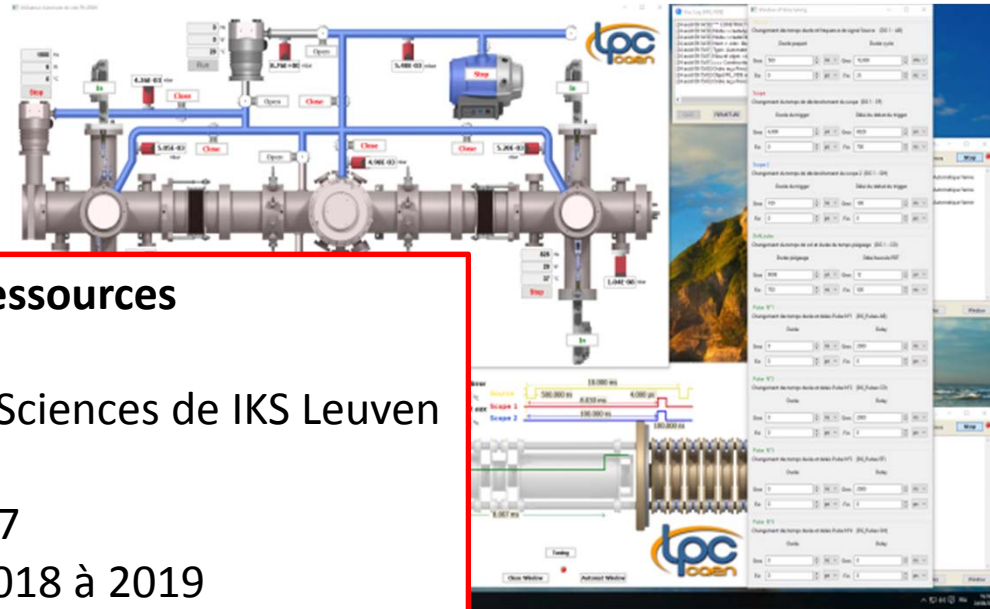
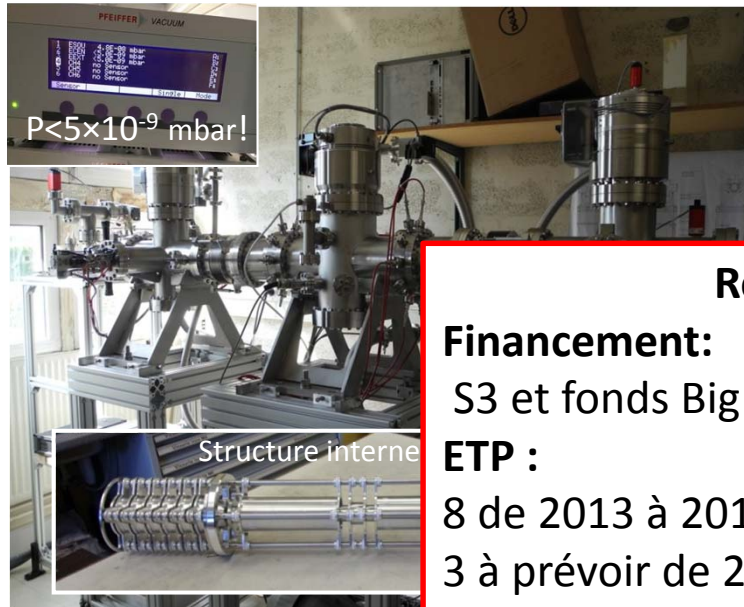
- Cooled and bunched beams, with $\delta t < 100\text{ns}$
- High vacuum ($< 10^{-8}$ mbar)
- High precision and stability voltage supplies



PILGRIM pour S3-LEB

Piège à Ions Linéaire du Ganil pour la Résolution des Isobares et la mesure de Masse

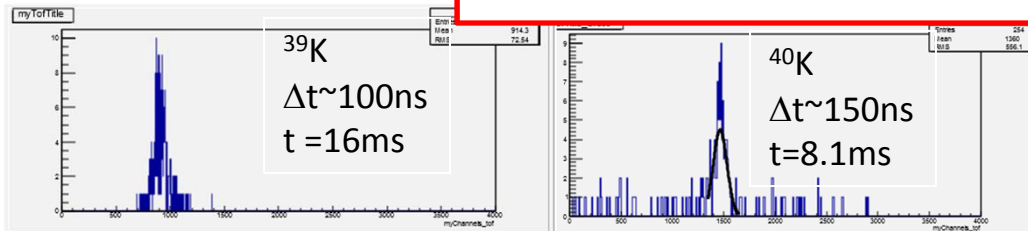
- Stable beam commissioning at **LPC Caen**: July 2016 >>
- RIB commissioning at **SPIRAL 1 (?)**: fin 2017 >>
- Measurements at **S3-LEB**: 2018 >>



Ressources

Financement:
S3 et fonds Big Sciences de IKS Leuven

ETP :
8 de 2013 à 2017
3 à prévoir de 2018 à 2019



- $R = \Delta t / (2t) \sim 65,000$ in 5 days (!)
- No trapping losses up to $t \sim 32$ ms
- Optimizations going on
- Goals: $R > 100,000$ and $\delta m/m \sim 10^{-6}$

Simulation, design and tests (GANIL)
P. Chauveau, P. Delahaye, Y Liu, A. Shornikov
Collaboration with uni – Greifswald
 R. Wolf, M. Rosenbusch et L. Schweikhard

Mechanical design and construction, electronics and slow control (LPC Caen)
 Y. Merrer, J. Lory, P. Desrues, J. F. com, C. Vandamme, J. Brégeault et F. Boumard

Up to $R > 10^5$ with > 20 ms cycles - up to 10^5 pps

Observables et outils de mesure dans les expériences ISOL de basse énergie

- Observables des installations ISOL
 - **Le faisceau radioactif!**

Observables et outils de mesure dans les expériences ISOL de basse énergie

- Observables des installations ISOL
- La qualité optique des faisceaux ISOL permet des manipulations dans les pièges, avec laser, ou des implantations dans des stations de décroissance

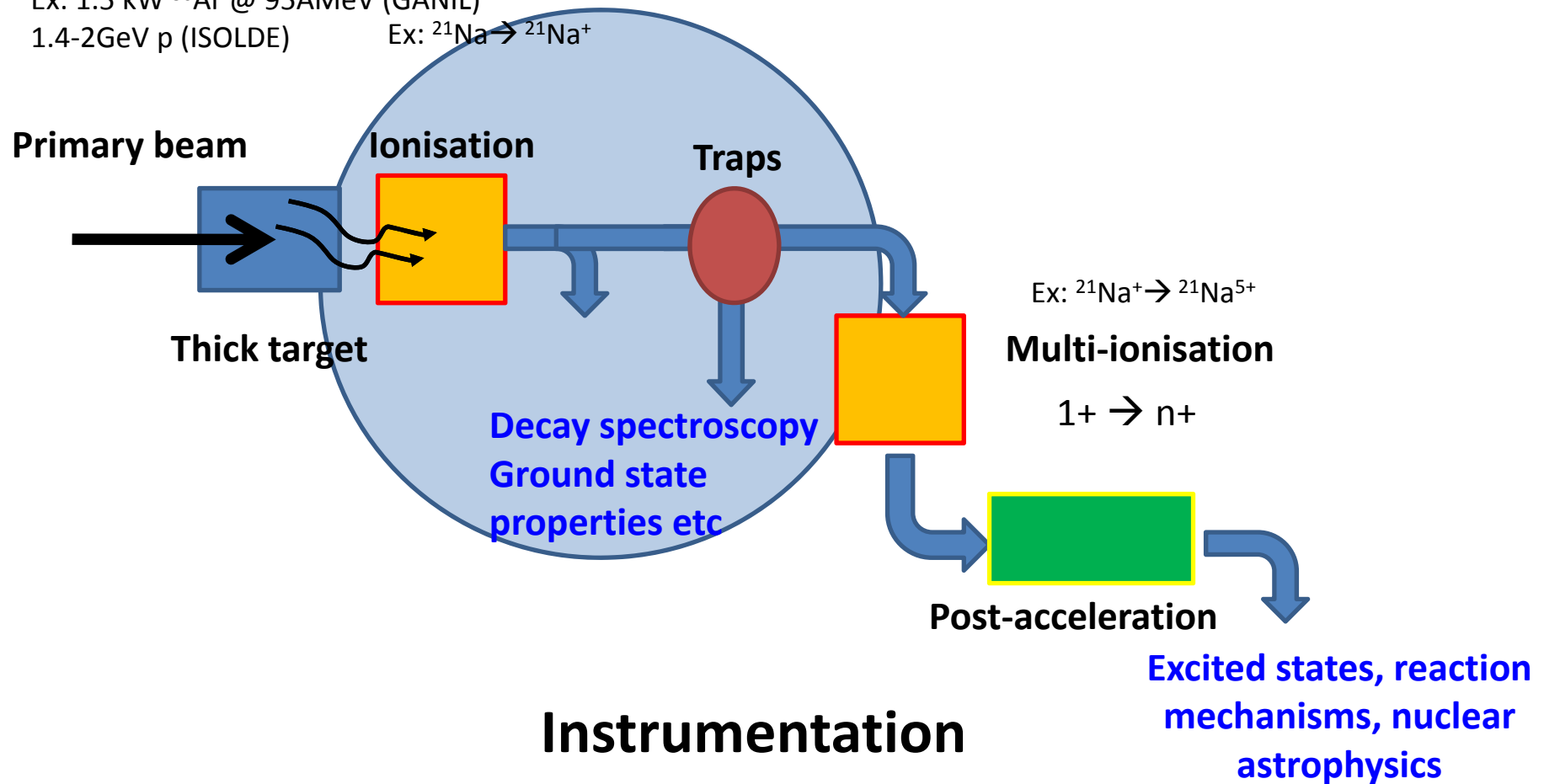
Schéma d'une installation Isotope Separation On-Line

- Méthode Isotope Separation On-Line

Ex: 1.5 kW ^{36}Ar @ 95A MeV (GANIL)

1.4-2 GeV p (ISOLDE)

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



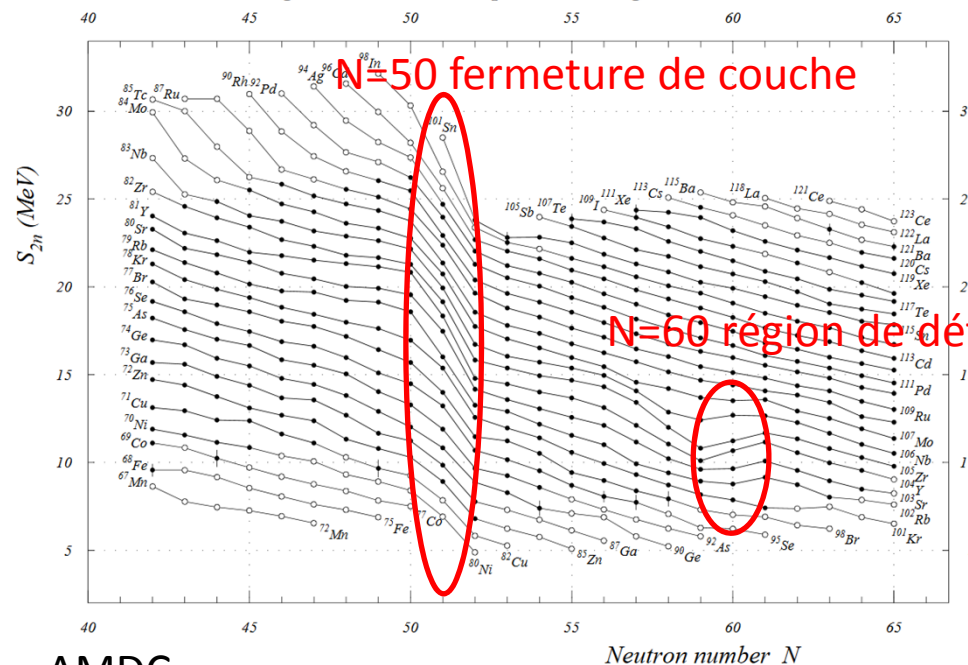
Observables et outils de mesure dans les expériences ISOL de basse énergie

- Observables des installations ISOL
- La qualité optique des faisceaux ISOL permet des manipulations dans les pièges, avec laser, ou des implantations dans des stations de décroissance
 - Observables avec des pièges à ions
 - Masse des isotopes radioactifs

Observables et outils de mesure dans les expériences ISOL de basse énergie

- Observables des installations ISOL
- La qualité optique des faisceaux ISOL permet des manipulations dans les pièges, avec laser, ou des implantations dans des stations de décroissance
 - Observables avec des pièges à ions
 - Masse des isotopes radioactifs

Fig. 3. Two-neutron separation energies $N = 42$ to 65



Energie de séparation de 2n

$$S_{2n} = B(N, Z) - B(N-2, Z)$$

« Surface de masse »

Voir présentation D. Lunney

Pièges de Penning

- Outils de précision!

- Ultra-High resolution mass separation
- Ultra-High accuracy mass measurements

$$R=m/\Delta m > 10^5$$

$$\sigma_m/m < 10^{-8}$$

Accurate mass measurements needed for:

- Mass models and nuclear structures
- Estimating reaction rates for astrophysics

- Testing fundamental symmetries

- IMME (Isospin symmetry)
- CVC hypothesis and V_{ud} determination
- ...

Masses of elementary particles (e-, p...)

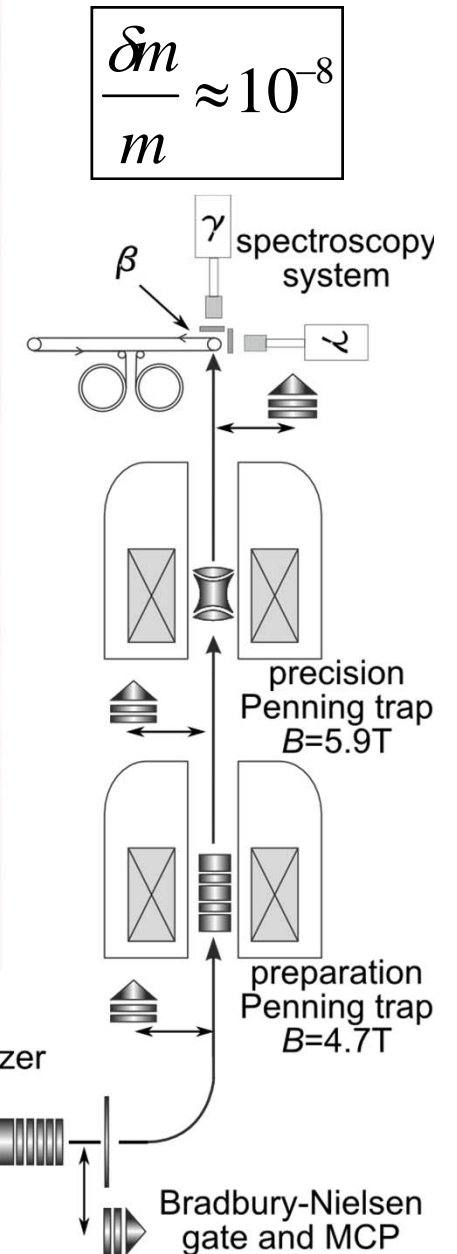
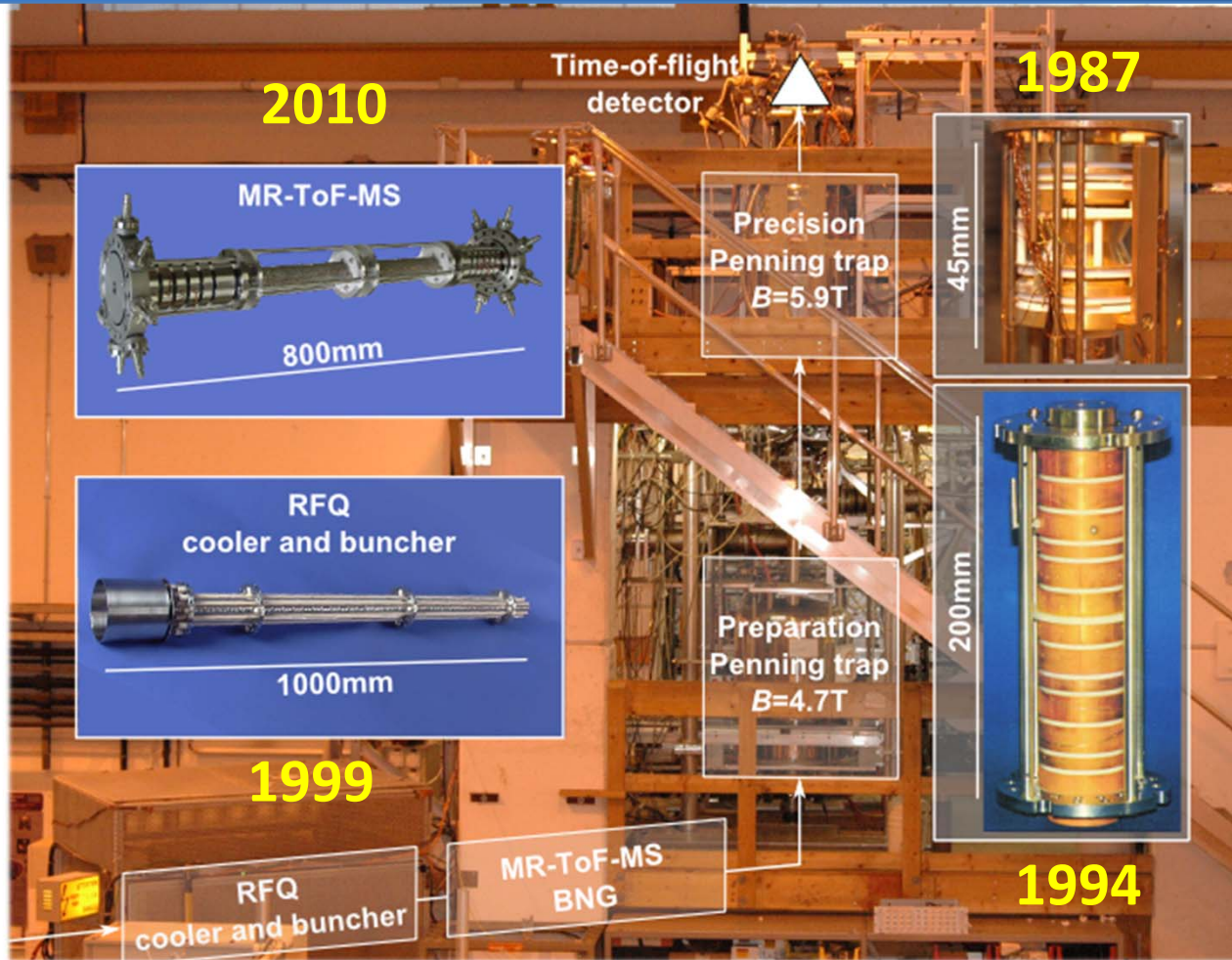
$$\sigma_m/m < 10^{-6}$$



$$\sigma_m/m < 10^{-8}$$

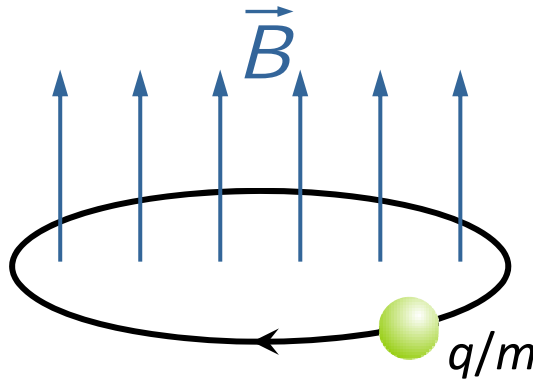
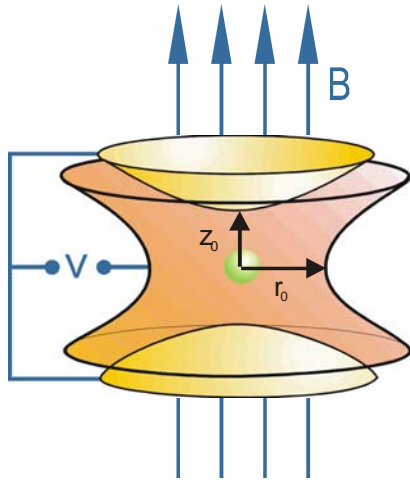


$$\sigma_m/m < 10^{-11}$$



more than 500 short-lived nuclides investigated

Mesure de la fréquence cyclotron

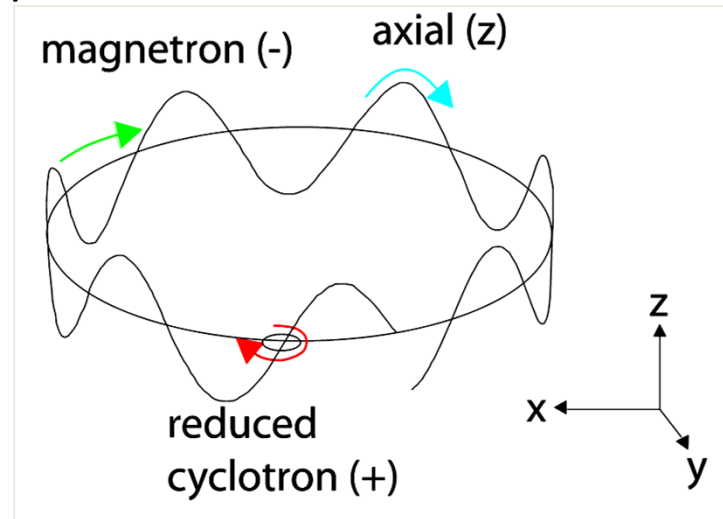


$$\omega_c = \frac{q}{m} \cdot B = 2\pi \cdot f_c$$

2 eigenmotions

$$\omega_+ = \frac{\omega_c}{2} + \sqrt{\frac{\omega_c^2}{4} - \frac{\omega_z^2}{2}}$$

$$\omega_- = \frac{\omega_c}{2} - \sqrt{\frac{\omega_c^2}{4} - \frac{\omega_z^2}{2}}$$



$$\omega_+ + \omega_- = \omega_c$$

$$\omega_+ \approx \omega_c \gg \omega_-$$

$A=100, q=1, B=6T$

- $f_+ \approx 1 \text{ MHz}$

- $f_- \approx 1 \text{ kHz}$

Mesure de la fréquence cyclotron

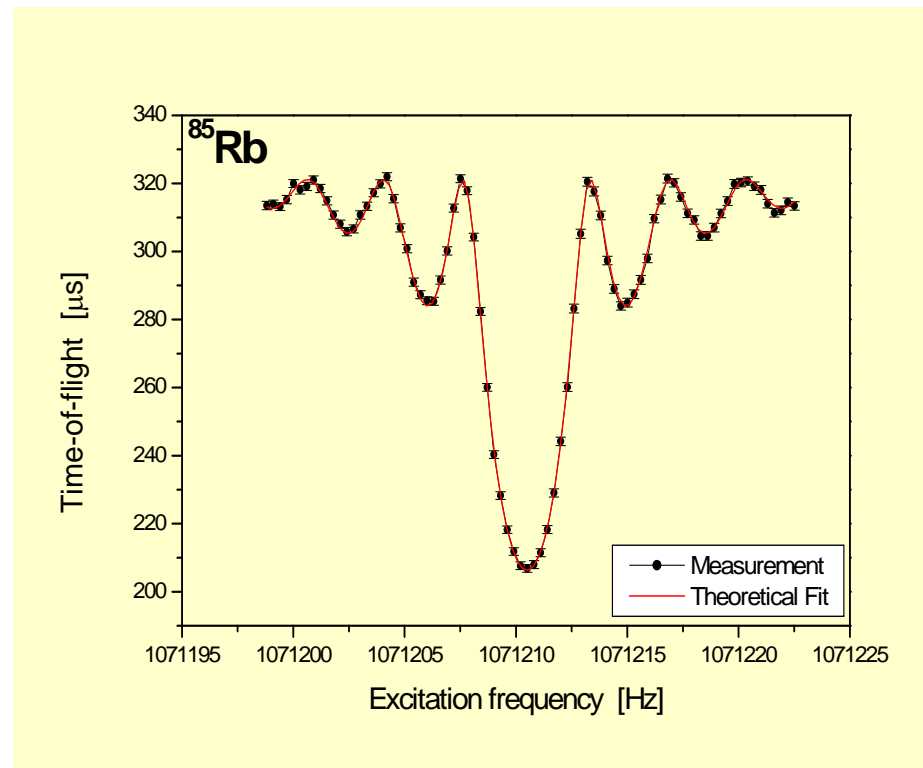
Ex: Mesure de temps de vol

- Excitation du mouvement des ions pendant T_{exc}
 - Transformée de Fourier: $\text{sinc}(\omega)$, largeur $1/T_{\text{exc}}$
 - Le temps de vol est minimal quand la conversion du mouvements magnétron en cyclotron est résonante $\omega = \omega_c$
 - $R = \omega / \delta\omega \sim f_{\text{exc}} * T_{\text{exc}}$

Précision relative:

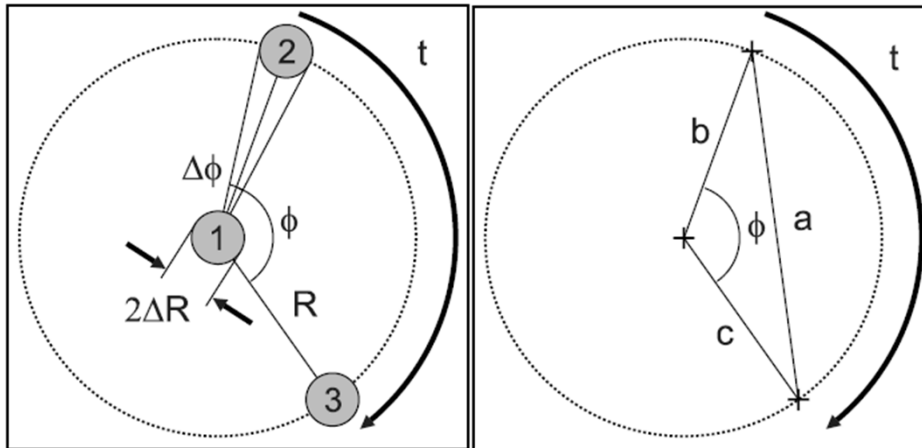
$$(\delta m/m) \leq 10^{-7}$$

Limitée par les variations
et l'homogénéité du
champ magnétique



Mesure de la fréquence cyclotron

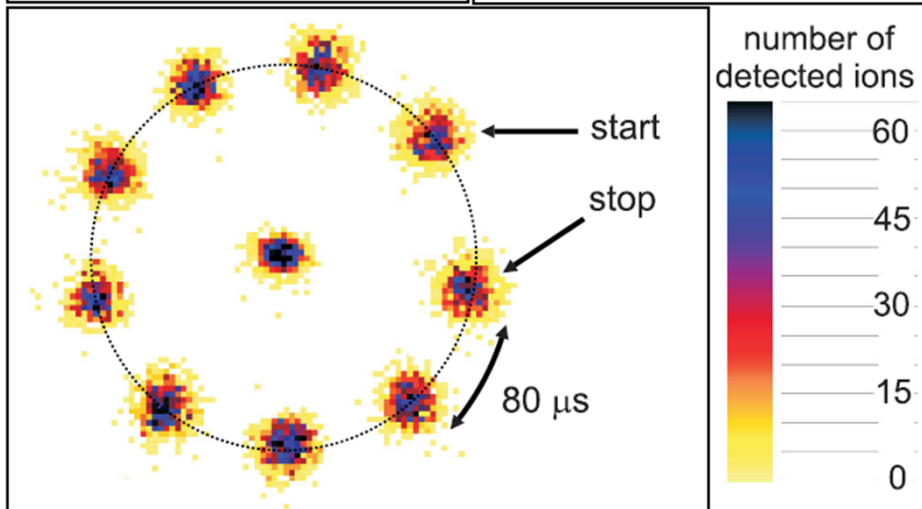
Ex: Technique « Phase imaging »



Cyclotron motion dipolar excitation
 Magnetron motion dipolar excitation **OR**
 Phase measurement after free revolution

$$2\pi\omega_{+/-}t = 2\pi nt + \phi$$

 Ejection and measurement of phase on MCP



Ions follow the magnetic field lines
 → Great magnification factor

$$\omega_{+} + \omega_{-} = \omega_{c}$$

Compared to TOF - ICR

4x more accurate

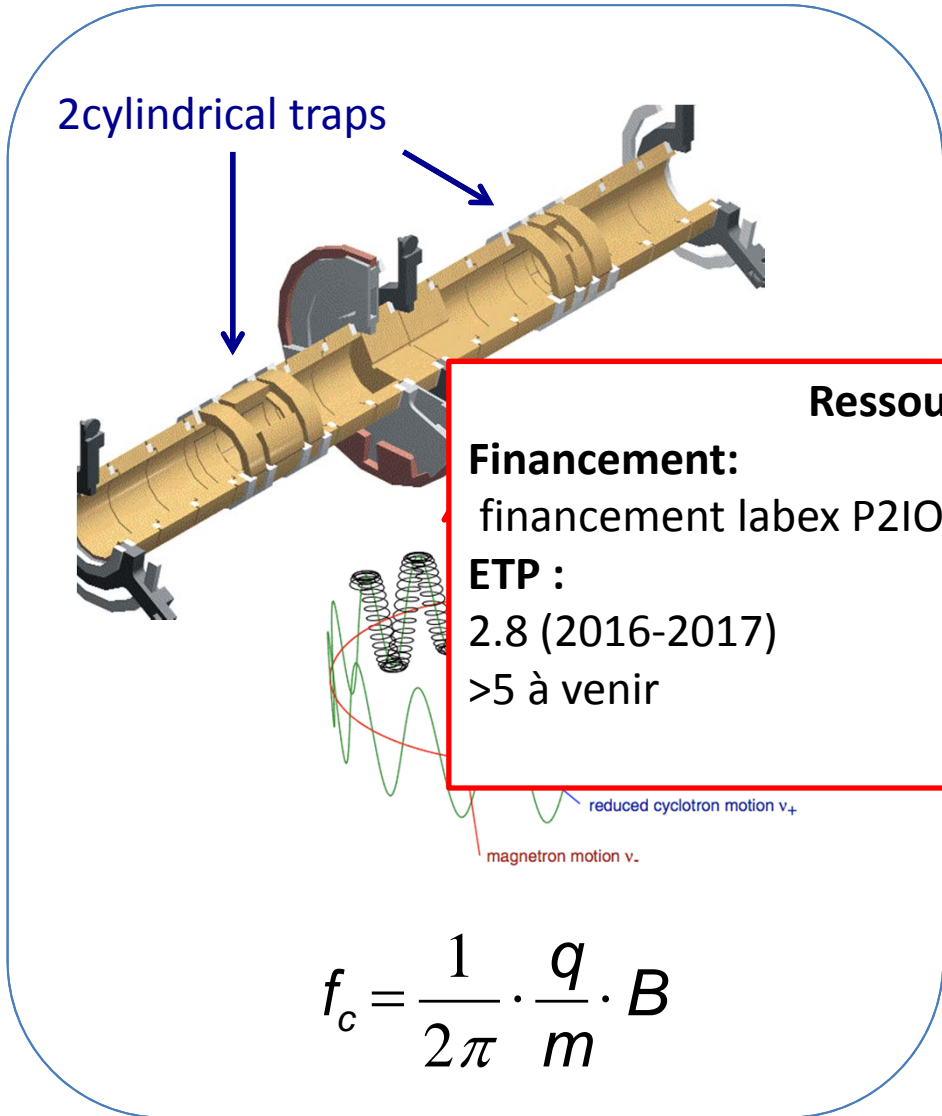
Separation: $R = m/\delta m \times 40$

$\sigma_m/m \sim 10^{-9}$ is achievable

S. Eliseev et al, *Phase-Imaging Ion-Cyclotron-Resonance Measurements for Short-Lived Nuclides*,
 PRL 110, 082501 (2013)

MLLTrap@ALTO

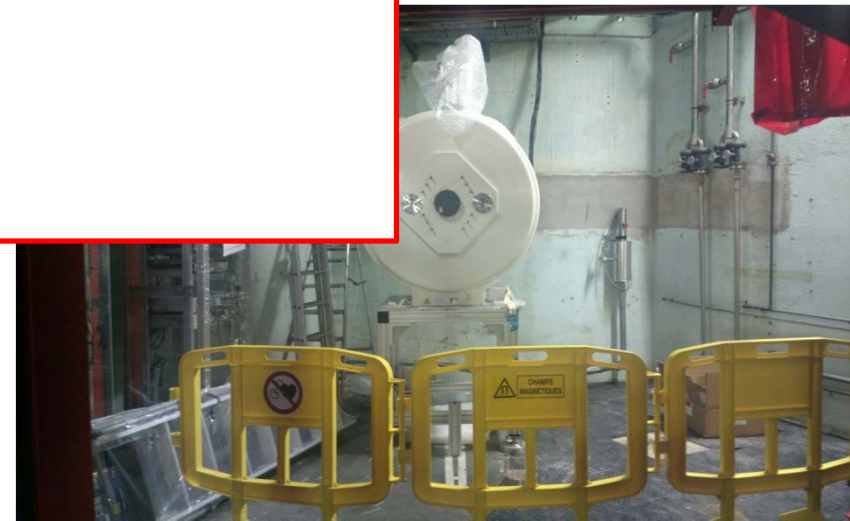
V.S. Kolhinen et al., Nucl. Instr. Meth. A 600 (2009) 391



Ressources

Financement:
 financement labex P2IO, Région Ile de France

ETP :
 2.8 (2016-2017)
 >5 à venir



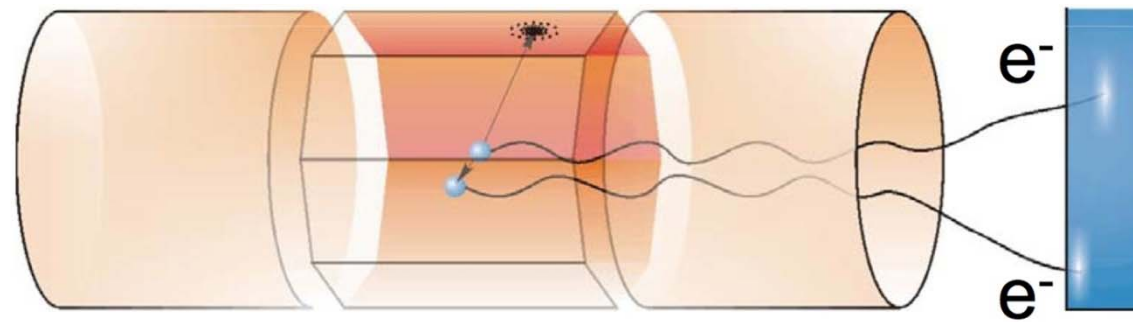
MLLTRAP: spectroscopie de masse d'ultra haute précision 10^{-9} (technique PI-ICR)
 Spectroscopie $\alpha - e^-$ dans le piège

MLLTrap@ALTO

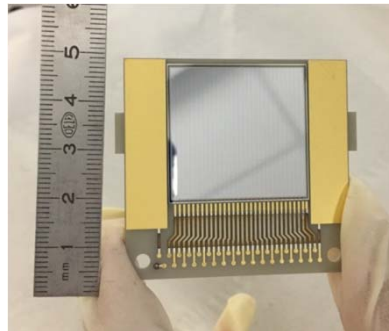
Mesure de temps de vie de niveaux 0^+ des émetteurs α

Image by F. Herfurth

C. Weber et al., International Journal of Mass Spectrometry 349–350 (2013) 270–276



- Remplacement des électrodes centrales par des détecteurs Si
- Premières simulations encourageantes



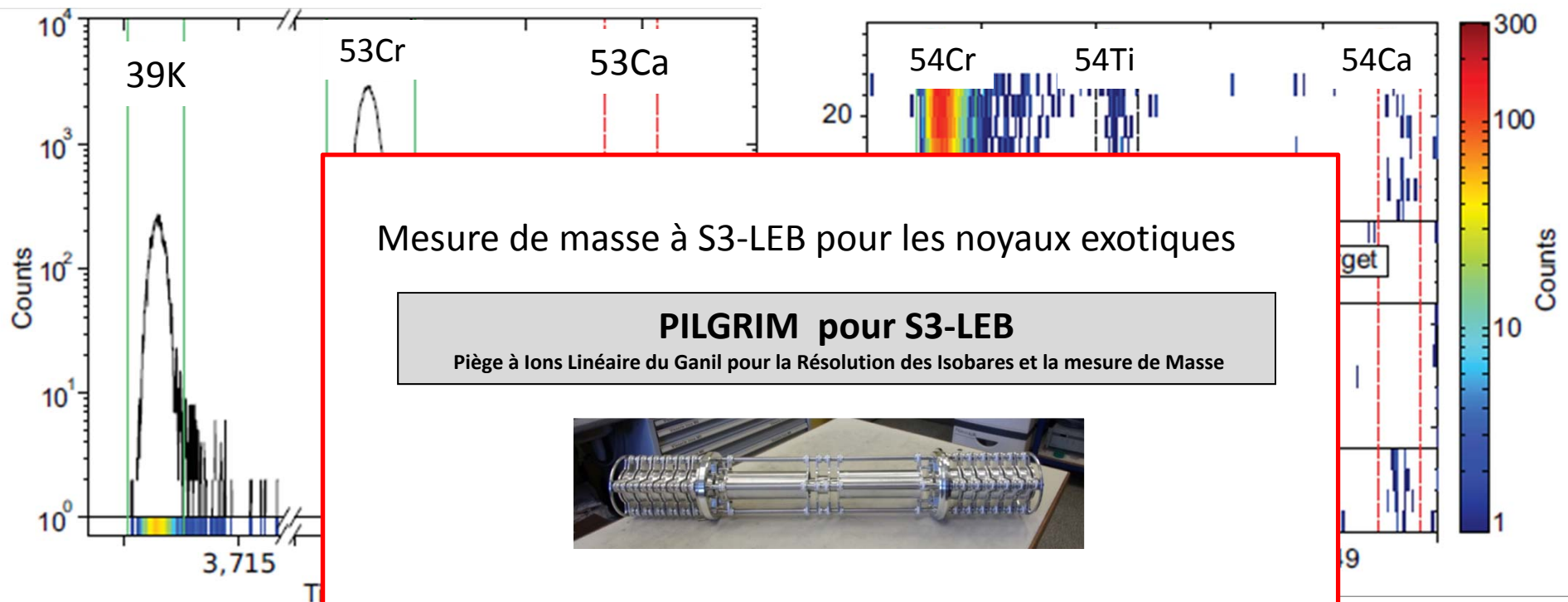
MR-ToF mass spectrometer

\\ n-rich Calcium isotopes: 53Ca and 54Ca

51 $^{20}_{20}\text{Ca}_{31}$ 10.0 s (3/2 ⁻) M ⁻ 36339 (22) β ⁻ =100% β ⁻ n?	52 $^{20}_{20}\text{Ca}_{32}$ 4.6 s 0 ⁺ M ⁻ 34260 (60) β ⁻ =100% β ⁻ n<2%	53 $^{20}_{20}\text{Ca}_{33}$ 461 ms 3/2 ⁻ # M ⁻ 28460# (400#) β ⁻ =100% β ⁻ n>30%	54 $^{20}_{20}\text{Ca}_{34}$ 90 ms 0 ⁺ M ⁻ 24780# (500#) β ⁻ =100% β ⁻ n?...	55 $^{20}_{20}\text{Ca}_{35}$ 22 ms 5/2 ⁻ # M ⁻ 18350# (500#) β ⁻ =100% β ⁻ n?...
---	---	--	---	---

A=53: measurement cycle ≈ 4ms

A=54: measurement cycle ≈ 6ms



6413 counts/12.6h

→ 9 counts/minute

2314 counts/18.2h

→ 2 counts/minute

statistical uncertainty ≈ 45keV → $\delta m/m \approx 9 \times 10^{-7}$



Courtesy R. Wolf

Observables et outils de mesure dans les expériences ISOL de basse énergie

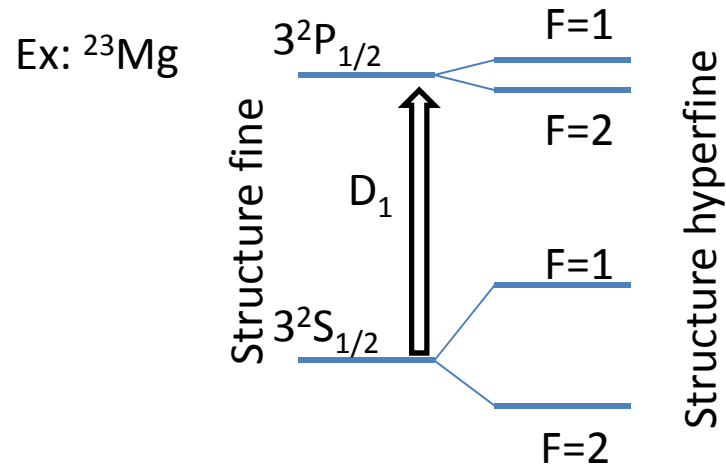
- Observables des installations ISOL
- La qualité optique des faisceaux ISOL permet des manipulations dans les pièges, avec laser, ou des implantations dans des stations de décroissance
 - Observables avec des pièges à ions
 - Masse des isotopes radioactifs
 - Observables avec des lasers
 - Structure hyperfine → Spins, moments EM: Q et μ
 - Isotope shifts → $\delta\langle r^2 \rangle$

Spectroscopie laser Voir présentation D. Lunney

Structure hyperfine

$$F = I + J$$

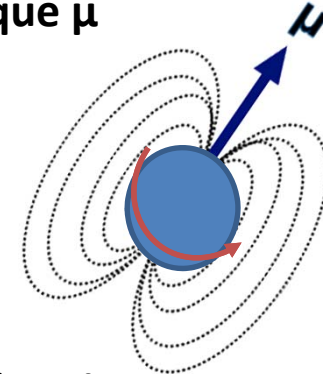
noyau électrons



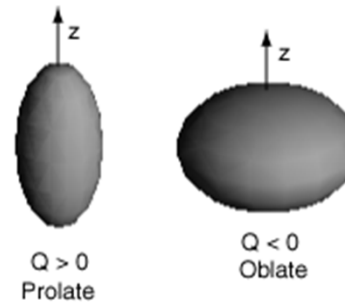
Moment dipolaire magnétique μ

$$\mu = \langle l, m=l | \mu_z | l, m=l \rangle$$

μ : configuration et couplage des nucléons de valence



Q moment quadrupolaire électrique



Classical definition

$$Q_0 = \int \rho(3z^2 - r^2) dV$$

$$Q = \frac{3K^2 - I(I+1)}{(I+1)(2I+3)} Q_0$$

Quantum measurement

Déformation quadrupolaire statique

Isotope shift

Décalage des niveaux hyperfins
Field shift est proportionnel à $\delta \langle r^2 \rangle$

Différence de rayons de charge carrés moyens $\delta \langle r^2 \rangle$

Taille du noyau
Déformations statiques et dynamiques

LINO à ALTO

Spectroscopie Laser collinéaire à ALTO

Accélération des ions pour diminuer la largeur Doppler $\delta\nu/\nu = \delta v/v$

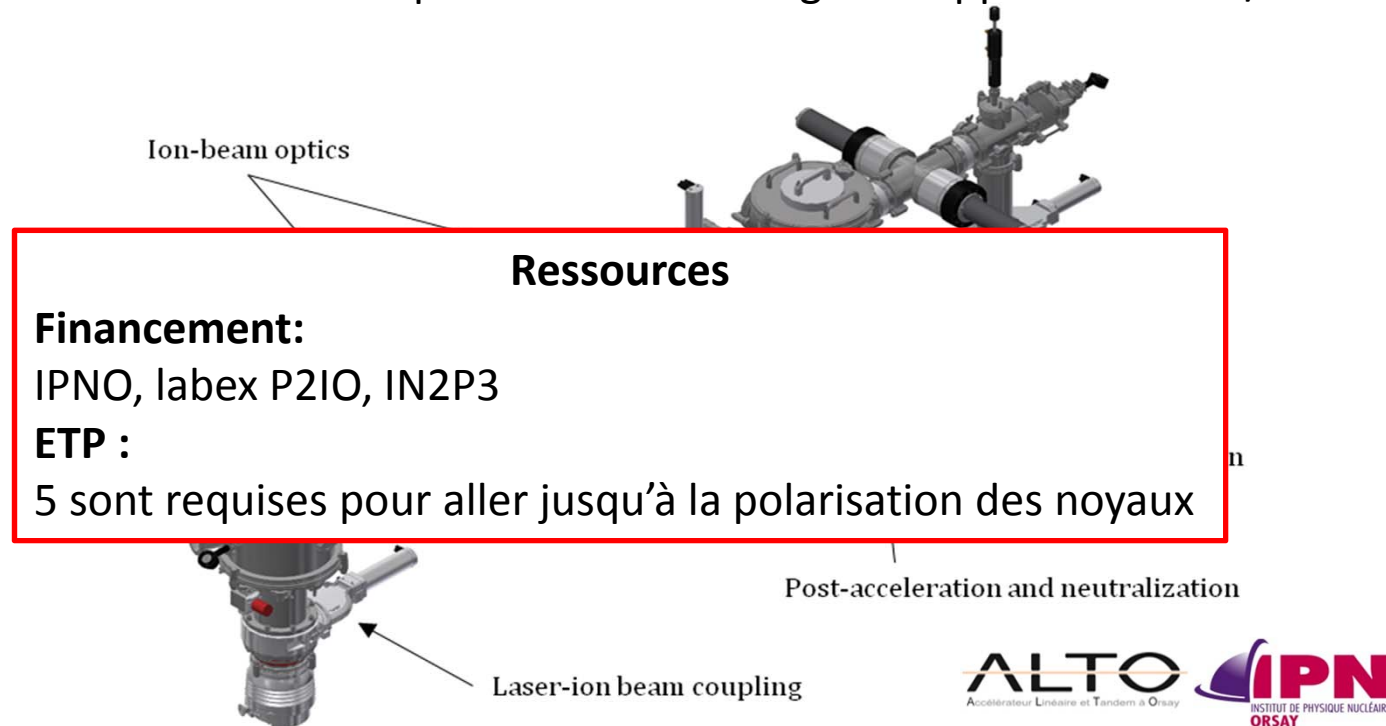


Figure 1: Technical drawing of the vacuum beam line for collinear laser spectroscopy.

Sensibilité: $<10^4$ pps

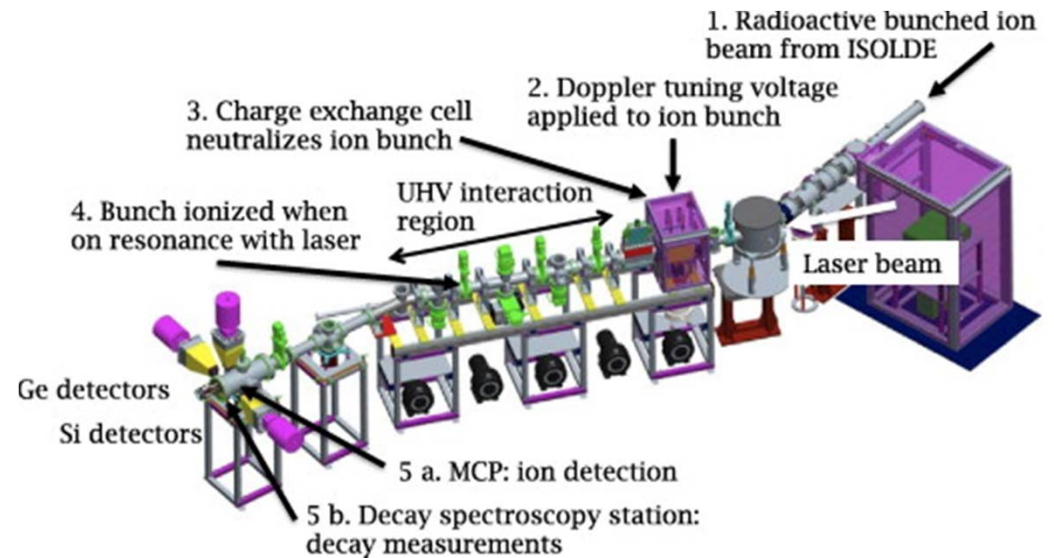
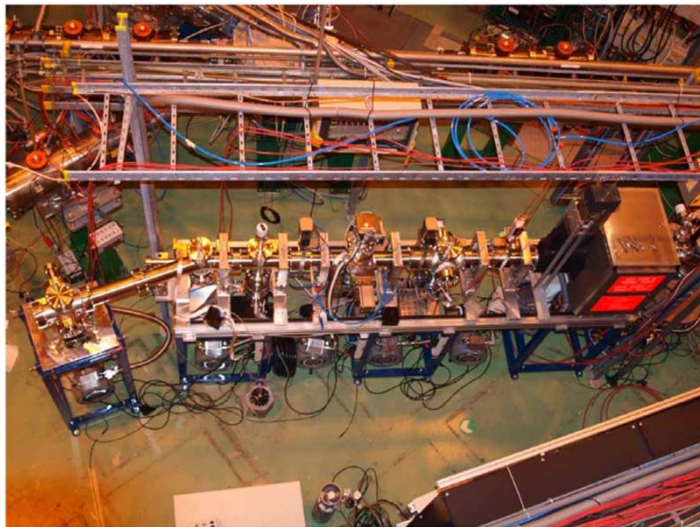
Avec faisceaux mis en paquets

LINO: polarisation des noyaux et spectroscopie de décroissance

Collinear Resonant Ionisation Spectroscopy

CRIS

ISOLDE



K. Flanagan, Vol. 23, No. 2, 2013,
Nuclear Physics News

T. E. Cocolios et al, NIMB 317(2013)565

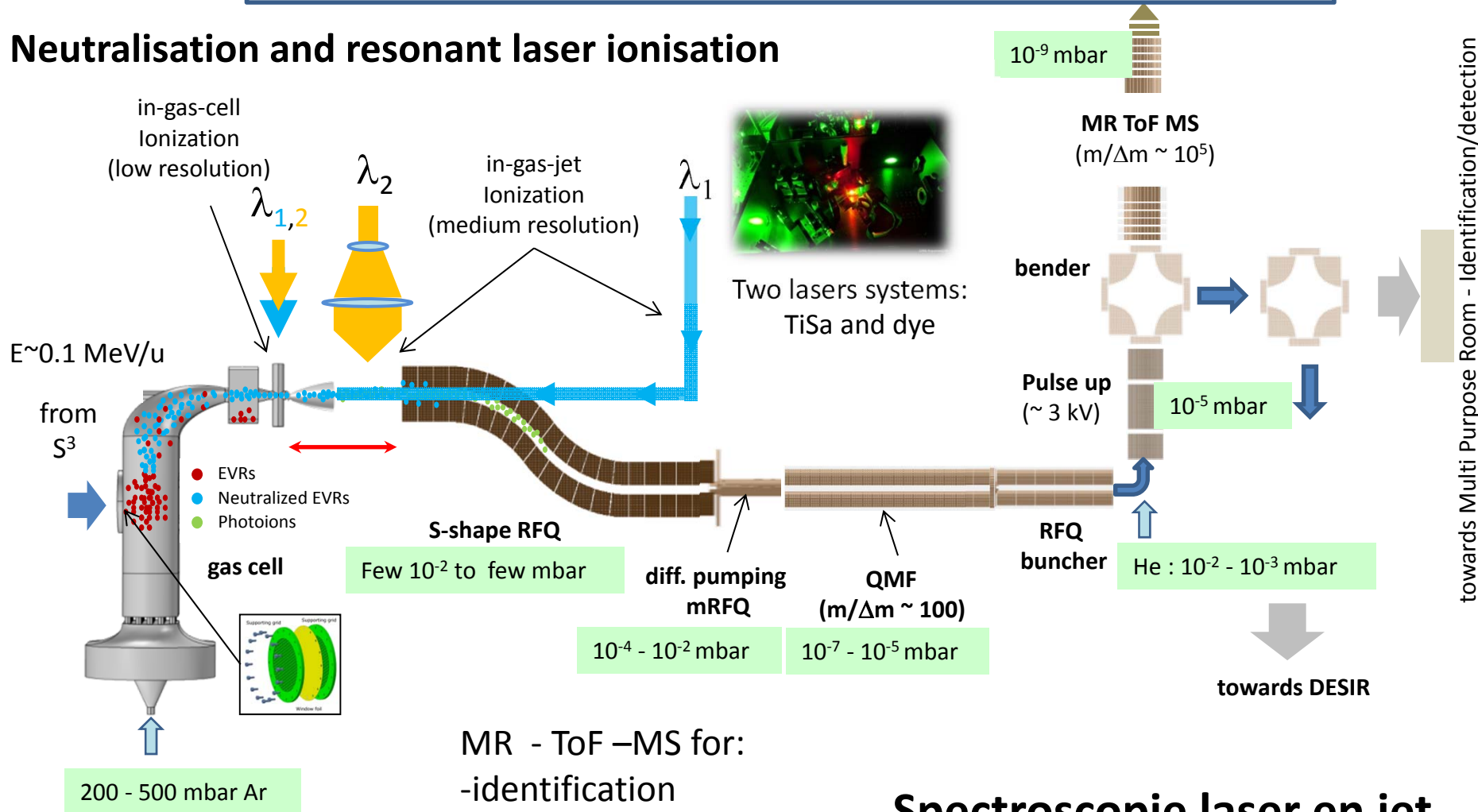
Sensibilité: $<10^2$ pps

Méthode à développer pour DESIR

S³-LEB @ SPIRAL2



Neutralisation and resonant laser ionisation

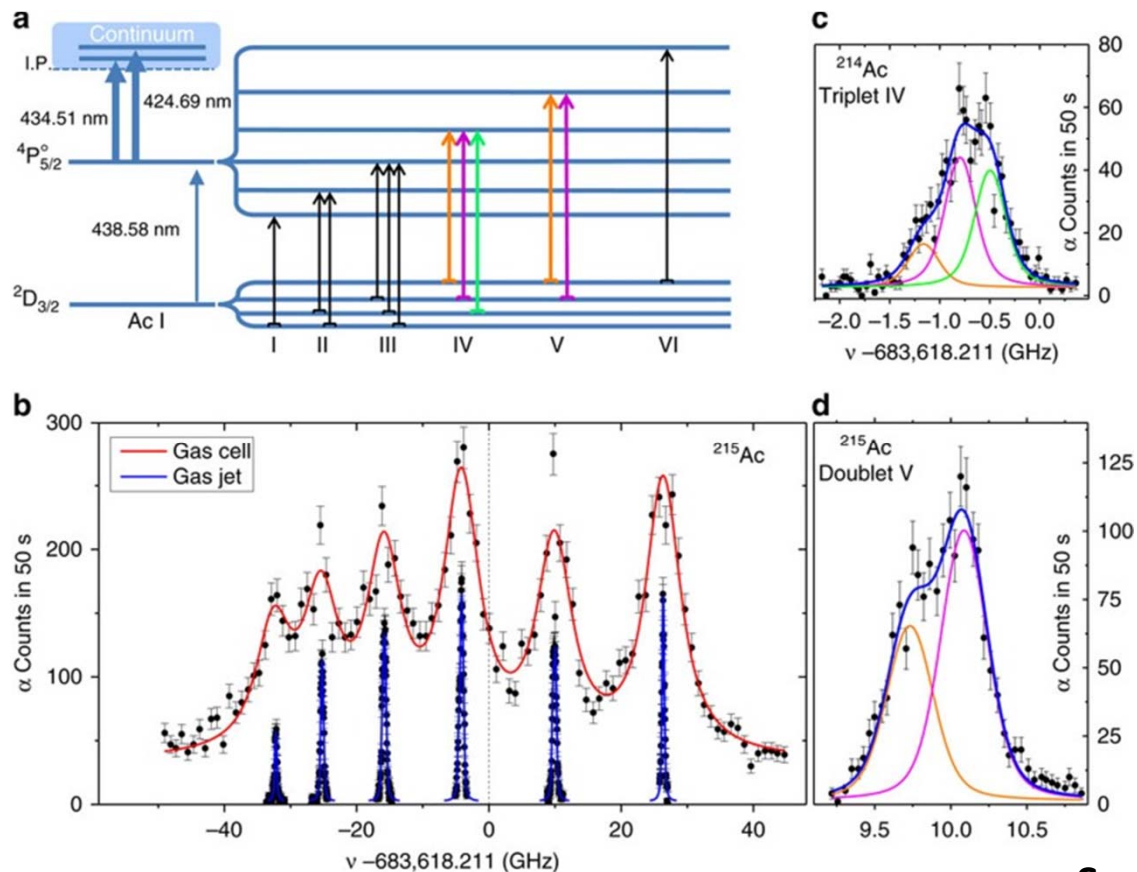


MR - ToF - MS for:
 -identification
 -Separation
 -Mass measurement

Spectroscopie laser en jet

S³-LEB @ SPIRAL2

Spectroscopie en jet supersonique



Sensibilité: <1 pps

R. Ferrer et al, *Nature Comm.* [2017; 8: 14520](#).

Combine l'ionisation et la spectroscopie de haute résolution

Spectroscopie des $^{212-215}\text{Ac}$ à LISOL (preuve de principe)

Résolution améliorée d'un facteur > 10!

Moments magnétiques: Low Temperature Nuclear Orientation

- Alternatives aux lasers pour la mesure de μ et du facteur gyromagnétique: $\mu = gS$



Observables et outils de mesure dans les expériences ISOL de basse énergie

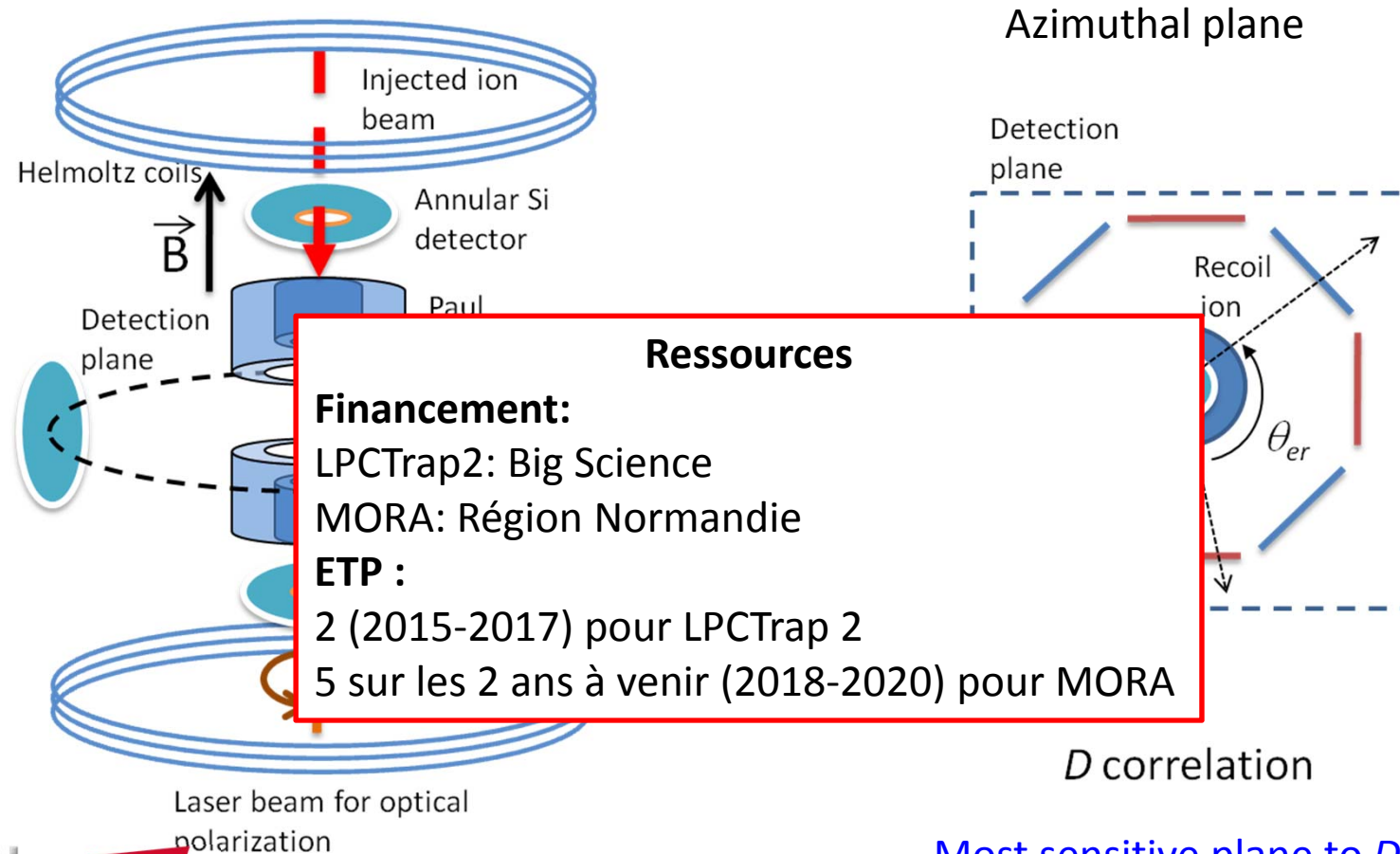
- Observables des installations ISOL
- La qualité optique des faisceaux ISOL permet des manipulations dans les pièges, avec laser, ou des implantations dans des stations de décroissance
 - Observables avec des pièges à ions
 - Masse des isotopes radioactifs
 - Observables avec des lasers
 - Spins, moments EM, δr^2
 - Observables avec des stations de décroissance
 - Mode de décroissance α , β , γ , EC, p, n
 - Temps de vie, branching ratios
 - Propriétés dynamiques: temps de vie des niveaux excités, t_y
 - Corrélations dans la désintégration β

Spectroscopie assistée par piégeage!

Purification, refroidissement, accumulation, production de pulse, polarisation, charge breeding

Voir présentation D. Verney, E. Liénard

Polarisation d'ions dans LPCTrap: MORA



Ressources

Financement:

LPCTrap2: Big Science

MORA: Région Normandie

ETP :

2 (2015-2017) pour LPCTrap 2

5 sur les 2 ans à venir (2018-2020) pour MORA



Most sensitive plane to D !

In trap optical polarization of $^{23}\text{Mg}^+$ and $^{39}\text{Ca}^+$

Combine l'efficacité de la méthode de polarisation avec la méthode de piégeage
Sensibilité à la violation de T (corrélation D) inégalée

LPCTrap2/MORA

Test de principe à JYFL avant DESIR

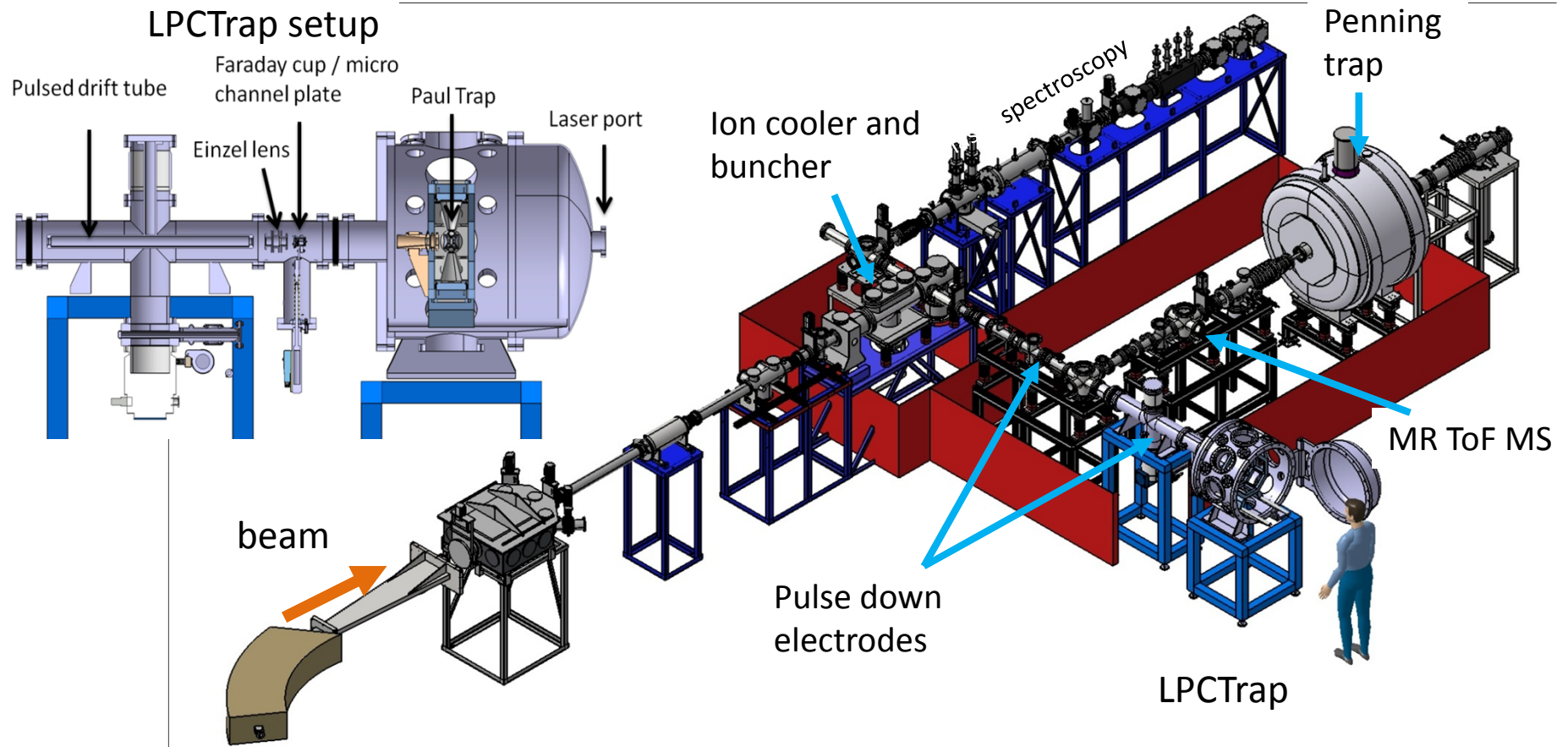
1) Laser polarization 2) First D measurement

GANIL
Laboratoire commun CEA/DSM/SPH/IN2P3



lpc
Caen
Laboratoire de physique corpusculaire

RÉGION
NORMANDIE



IGISOL – 4 : I. D. Moore et al., Nucl. Instrum. Meth. B, 317(2013)208

Financement région obtenu en Octobre

Station de décroissance

Compactness

5 HPGe detectors
Source-cap distance = 5 cm

$\epsilon_{\gamma}(1 \text{ MeV}) \approx 4-5 \%$

2 tapered EUROGAM1
(French-UK gamma
Loan Pool)

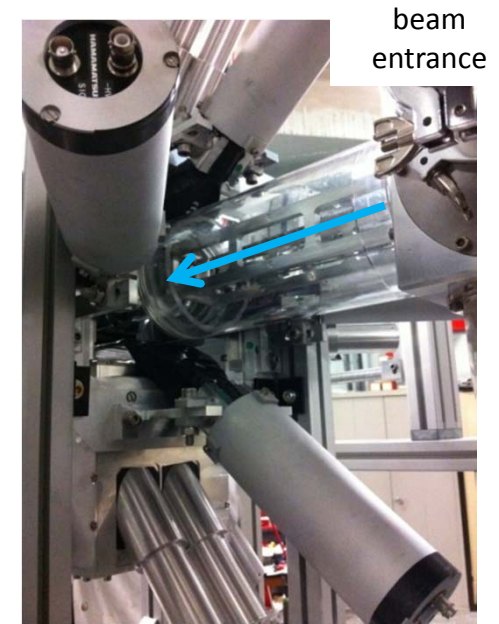
2 CLOVERS

4 π β (plastic) detector
 $\epsilon_{\beta} = 55 \%$

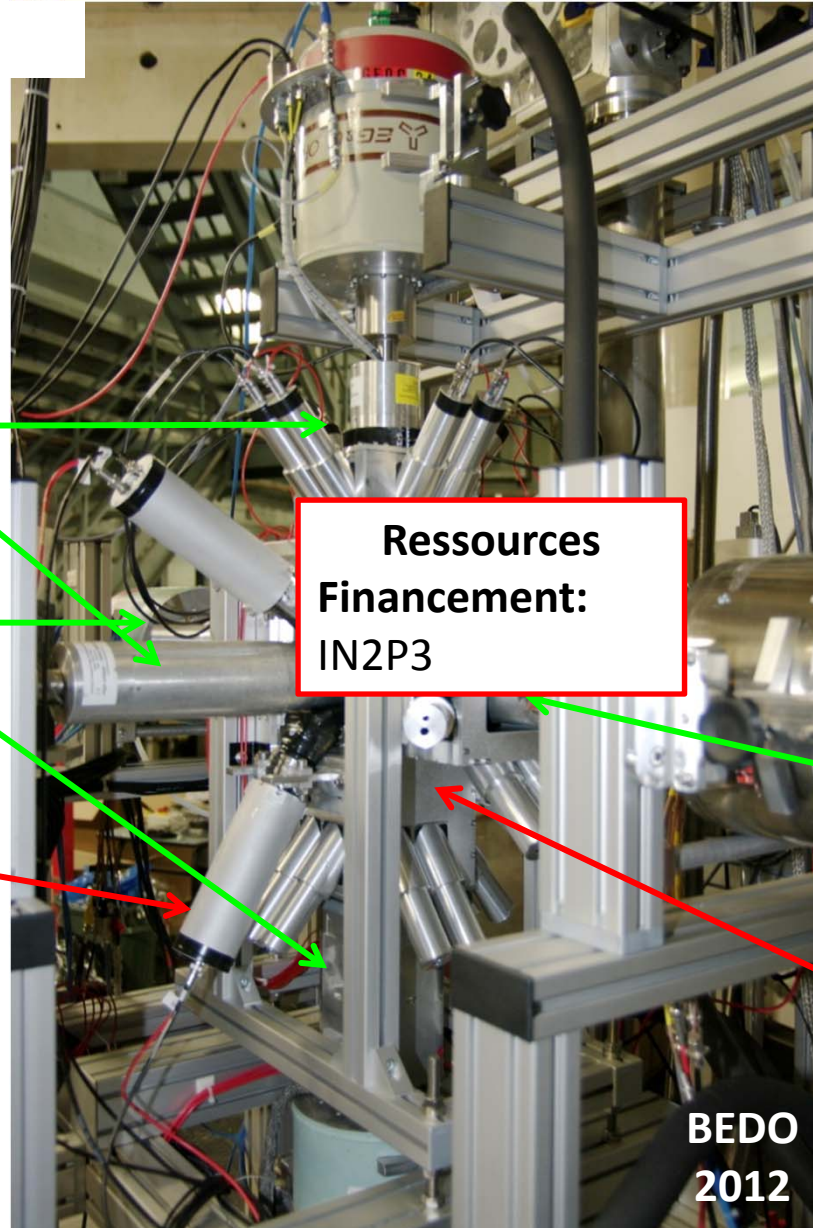
**Ressources
Financement:
IN2P3**

1 coaxial (large
volume)

BGO guard
detectors belt



beam
entrance



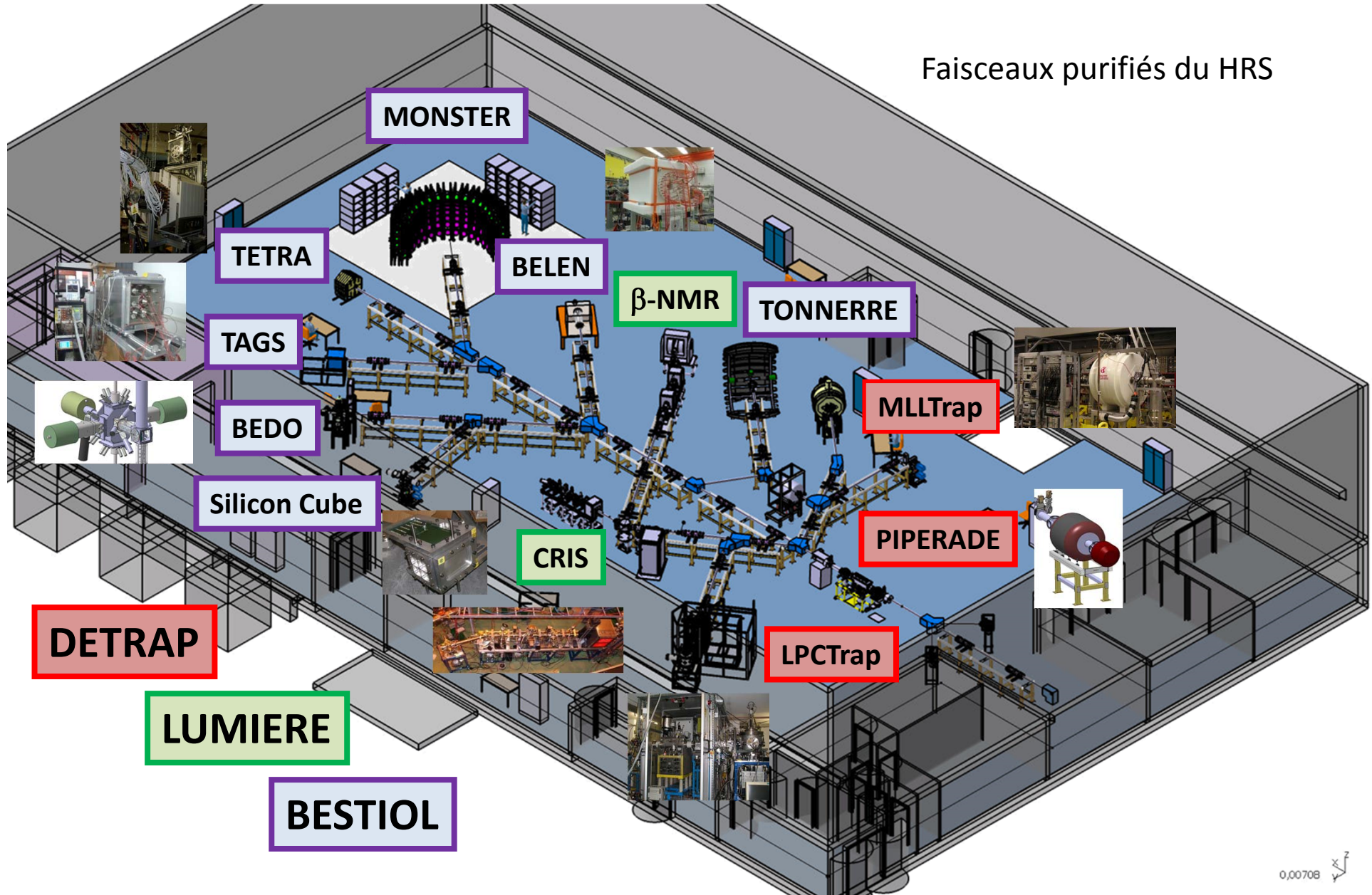
**BEDO
2012**

Résumé des outils

- Pièges à ions
 - Mesures de masses
 - MLLTRAP @ ALTO
 - PILGRIM @S3 LEB
 - Préparation du faisceau pour la méthode « trap assisted spectroscopy »
 - PIPERADE – sélection en masse
 - LPCTrap / MORA – accumulation, refroidissement et polarisation
- Lasers
 - Spectroscopie en source / en jet
 - S3 LEB gas cell
 - Spectroscopie laser collinéaire
 - LINO
 - CRIS
 - Méthode de polarisation par basse temperature
 - POLAREX
- Station de décroissance
 - BEDO et TETRA à ALTO

DESIR!

Faisceaux purifiés du HRS



Conclusions

- Installations de faisceaux radioactifs
 - **Complémentarité de modes de production très originaux** (photofission / fragmentation et fusion d'ions lourds, techniques ISOL et gas cell)
 - Devrait assurer une place de premier plan sur la scène internationale
 - ALTO seul operationel
 - SPIRAL 1 upgrade: démarrage 2018
 - S3-LEB: démarrage 2020
- Instrumentation
 - De nombreux développements d'instrumentation de pointe et / ou très innovante
 - Initiés par la phase 2 de SPIRAL 2, et S3 LEB
 - Se retrouvent tous dans DESIR
 - **DESIR comme installation « phare » de la physique ISOL de basse énergie à l'échéance 2024**
 - Pureté des faisceaux (HRS, PIPERADE)
 - Complémentarité des techniques (Laser/Piégeage/Décroissance)
 - Concentration unique des outils de pointe
- Enjeux des faisceaux *comme* de l'instrumentation
 - **Démarrage des installations en temps**
 - **Disponibilité du temps de faisceau**
 - Opération parallèle de ALTO/ GANIL SPIRAL 1 /SPIRAL 2 S3
 - **Maintenir une R&D interactive entre instrumentation et faisceaux**

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ALTO	Operational		Polarex + LINO operational		larger experimental hall?			
SPIRAL 1 upgrade	Commissioning	First experiments	Voir présentation H. Savajols					beams to DESIR
S3-LEB		... S3-LEB off-line tests at LPC Caen S3-LEB installation at ...
DESIR				Construction		Building ready		First experiments