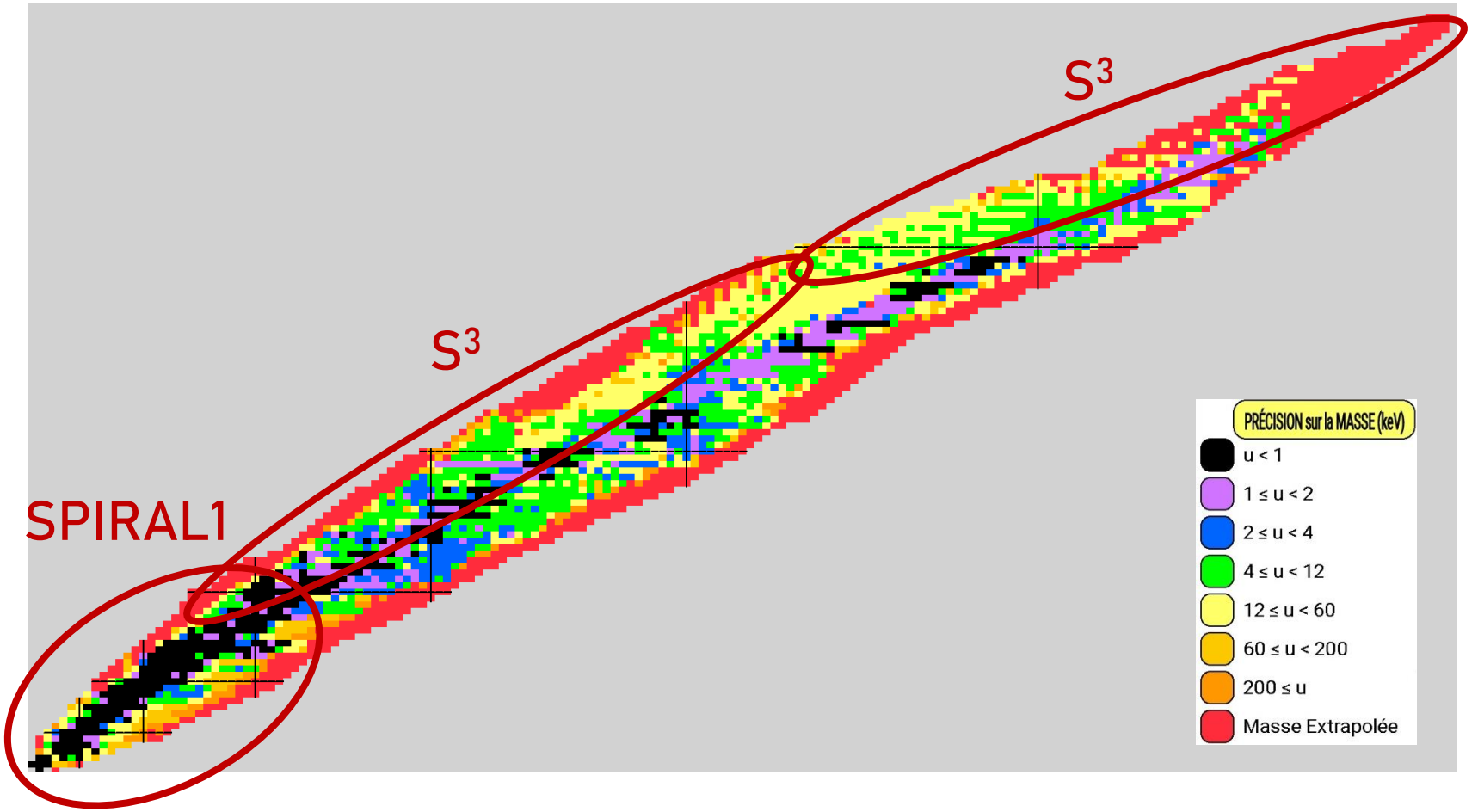
- DESIR/SPIRAL2
- Développements au LP2iB pour DESIR
  - HRS
  - GPIB
  - PIPERADE
- Mesures de masse (ISOLTRAP/ISOLDE, JYFLTRAP/IGISOL)

DESIR/SPIRAL2 au GANIL

Hall expérimental qui exploitera les faisceaux de S3 et SPIRAL1



Construction démarre juin 2023 !!!
(Premières manips en 2027)

Observables accessibles à DESIR

Masses M
Energies isomères E^*
Moments quadripolaires Q_s
Moments magnétiques μ
Rayons de charge $\delta\langle r^2\rangle$
Facteurs g, spin-parité J^π
Temps de vie $T_{1/2}$
BR
Energies niveaux
Force Gamow-Teller Σ(GT)
Probabilité émission de particules
...

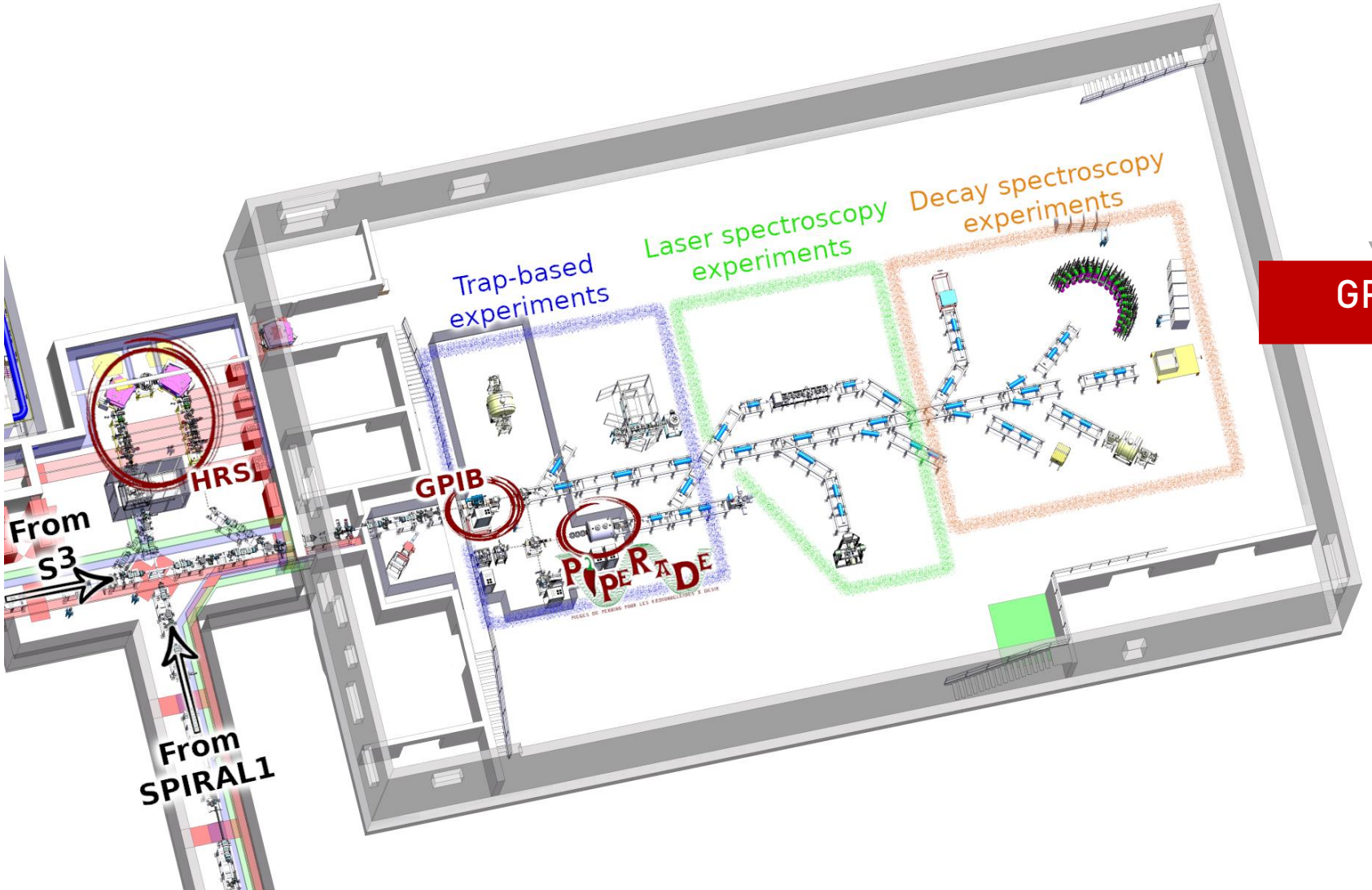
3 domaines de physique :
- Structure nucléaire
- Modèles de nucléosynthèse
- Interaction faible

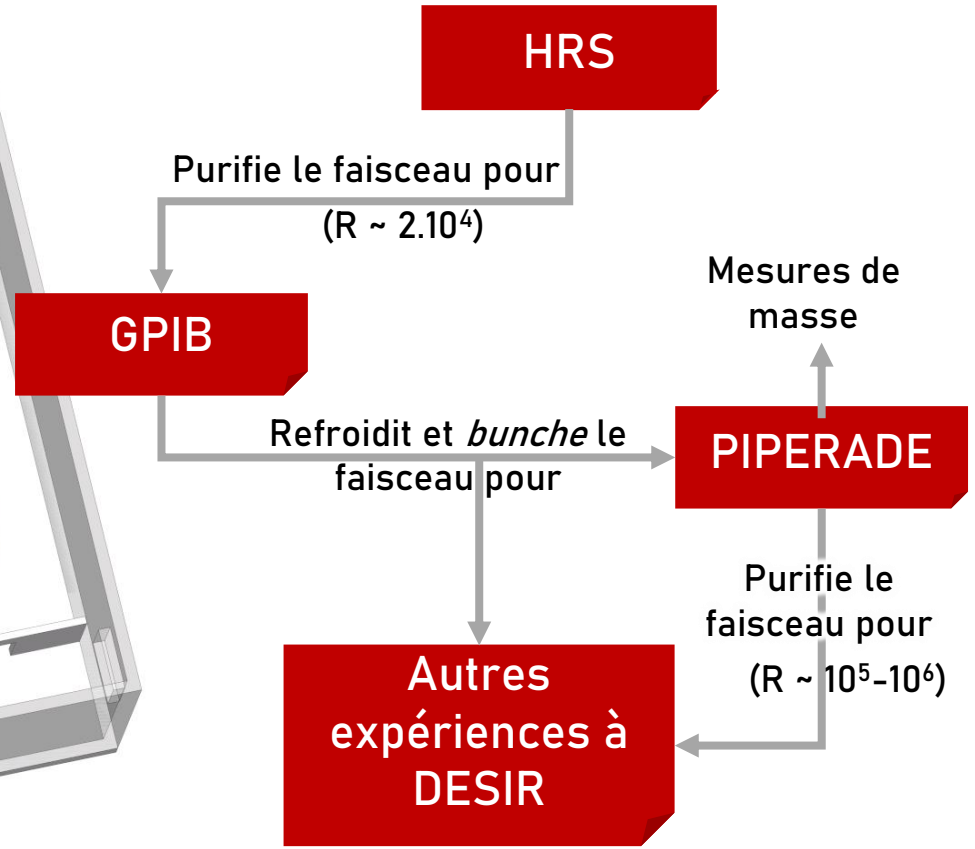
3 techniques expérimentales :
- Pièges à ions
- Spectroscopie laser
- Spectroscopie de décroissance

NEX : Bertram Blank (Porte-parole) + Forte implication Service Instru (P. Alfaurt, L. Daudin, K. Lacombe, L. Serani, ….)

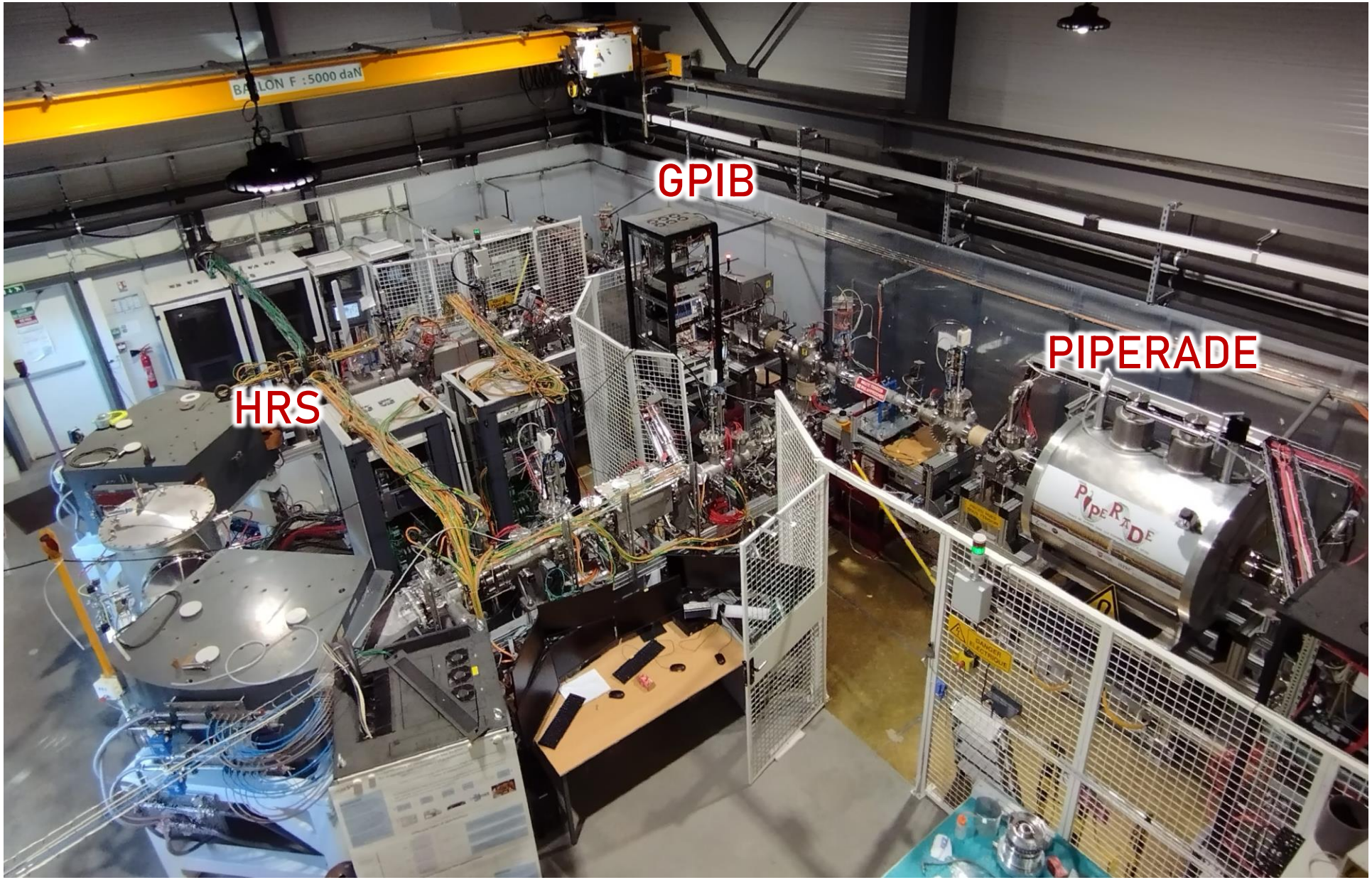
Développements au LP2iB pour DESIR/SPIRAL2

Toutes ces techniques de précision sont très sensibles à la contamination !!!
Mais aussi à la qualité du faisceau (faisceau refroidi) et nécessitent parfois un faisceau *bunché*



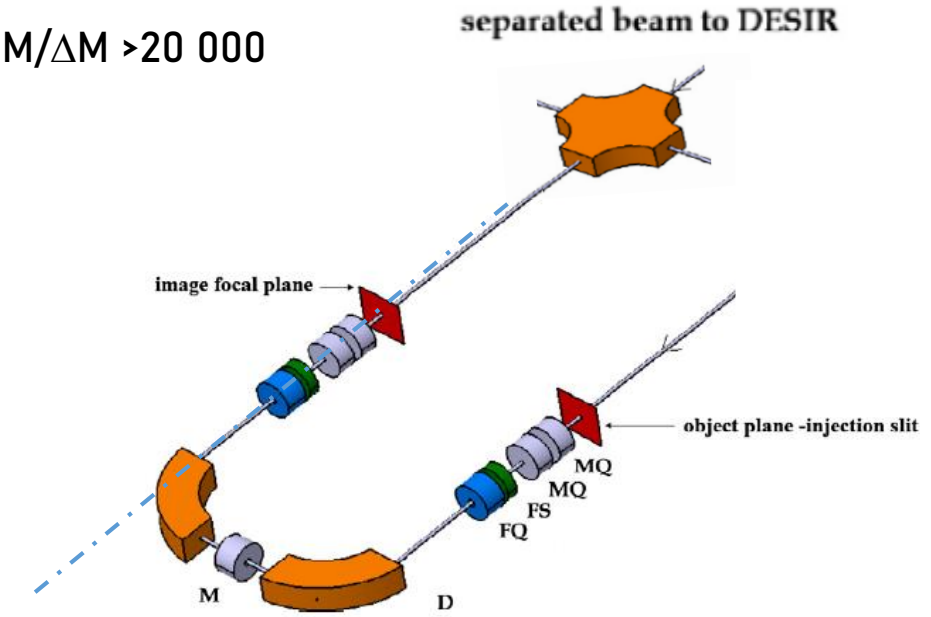


Hall de montage LP2iB



HRS

Objectif : résolution M/ΔM >20 000



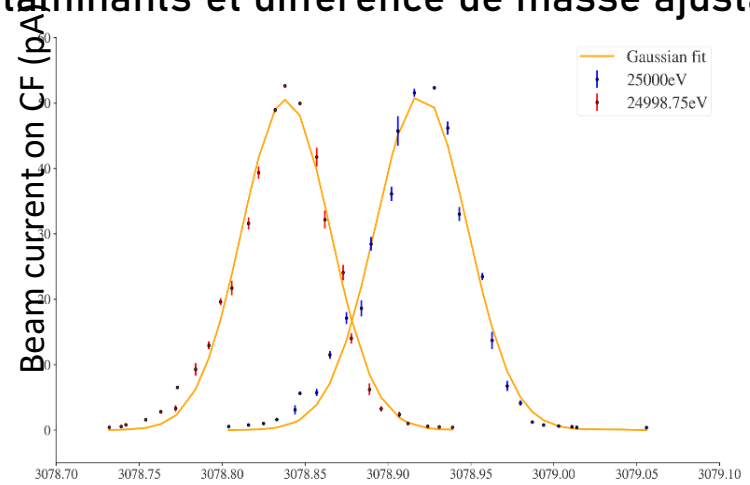
- 2013 : Design finalisé et publié par Teresa Kurtukian Nieto
  → *T. Kurtukian Nieto et al., NIMB 317 (2013) 284-289*

- 2014 - 2018 : Montage, développements outils diag, C/C, ….
  → Service Instrumentation et Mécanique

- 2019 – 2022 : Tests faisceau et simulations
  → Julien Michaud Post Doc 3 ans

J. Michaud et al., EMIS 2022 Proceeding, en cours

- Corrections hexapolaires/octupolaires pour minimiser les aberrations
- Développements soft pour optimisation HRS et utilisation émittancemètre
- Pouvoir de résolution atteint de 23400 !
- Développement d'une nouvelle technique pour simuler un faisceau contaminé (rapport ioi/contaminants et différence de masse ajustables)

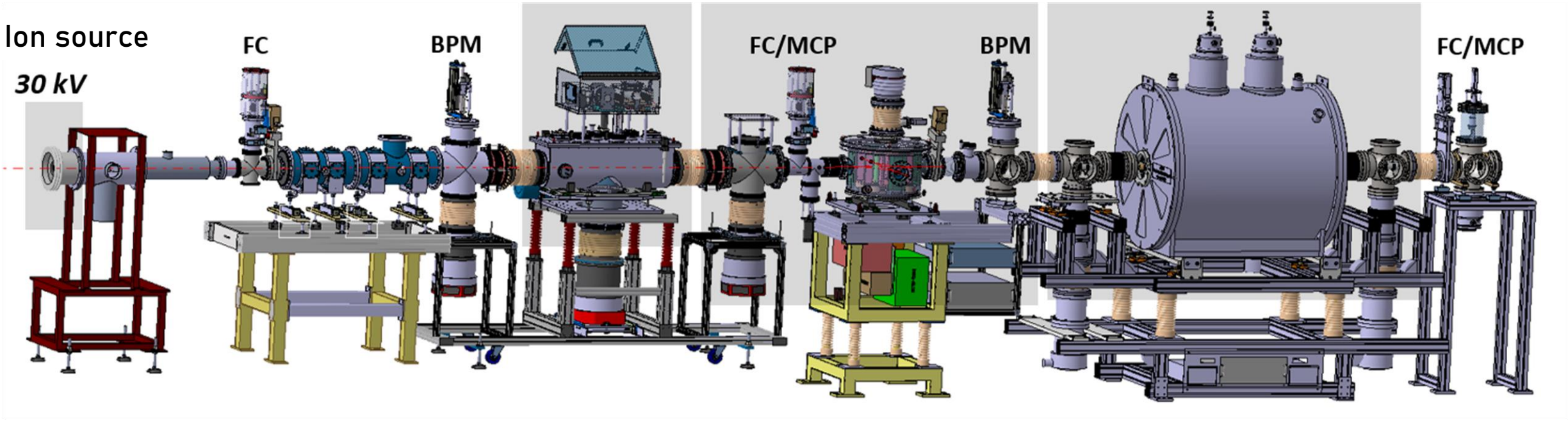


NEX : B. Blank
Instru: P. Alfaurt, A. Balana, L. Daudin, B. Lachacinski, L. Serani
Méca : BE + Atelier

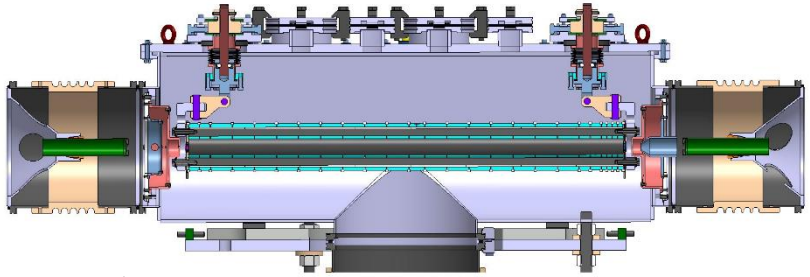
To-do

- Résolution en fonction de ratio et différence de masse
- Réglage semi-automatique (CorrAb)
- Développements C/C (Emittancemètre, Mesures RMN, …)
- MES et optimisation des bobines de corrections des dipôles
- Faces des dipôles à modifier
- Préparer le déménagement pour 2025 (+ Upgrade DESIR)

(Recrutement CDD EQUIPEX pour prendre la relève de Julien)

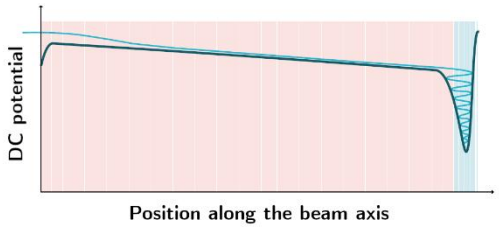

GPIB
29.9 kV
90° deflector
27 kV
PIPERADE
29.95 kV
Ion source
30 kV
FC
BPM
FC/MCP
BPM
FC/MCP

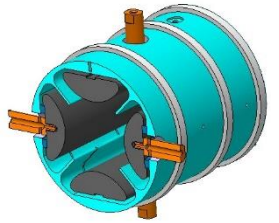
GPIB



Objectif: refroidir le faisceau (émittance transverse < 3 π.mm.mrad à 60 keV)
buncher le faisceau (émittance longitudinale < 10 eV.us)

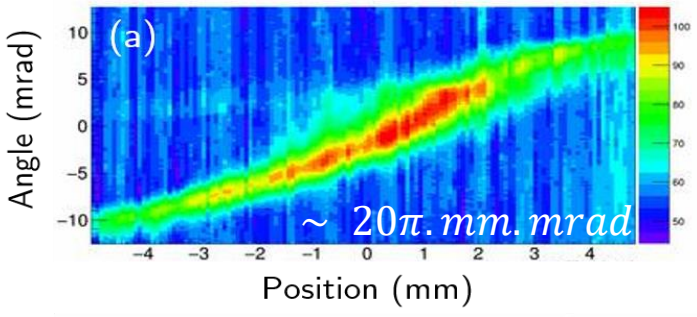
- 2013-2015 : Montage de la ligne de faisceau au LP2iB et du GPIB (système RF)

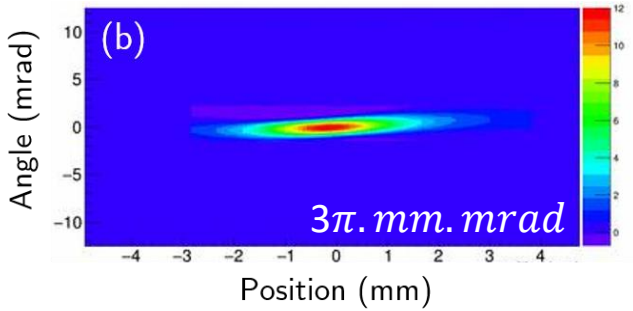




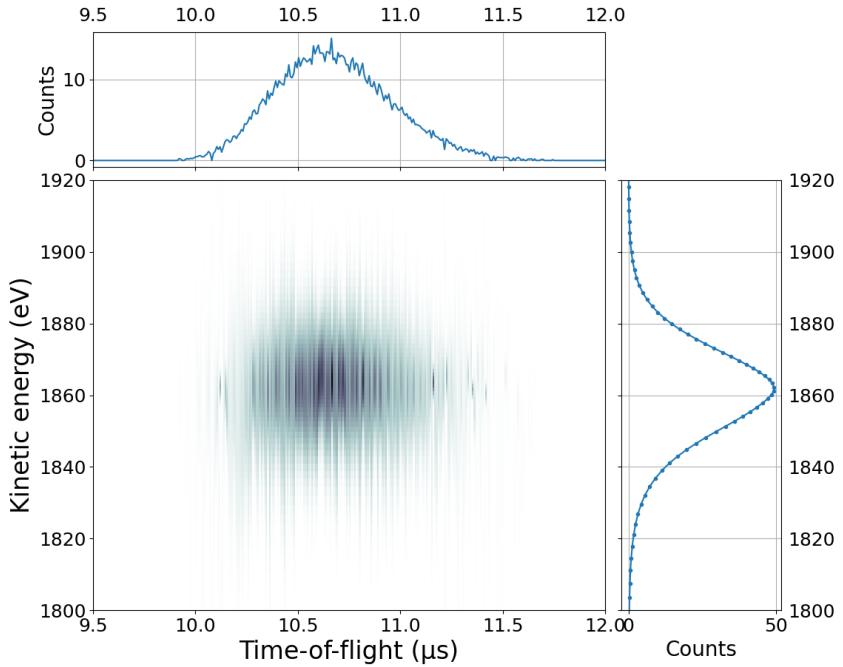
- 2015-2017 : Caractérisation en mode continu
  - Réduction émittance de 20 à 3 π.mm.mrad
  - Transmission de l'ordre de 70-80%, >90% si longue optimisation

M. Gerbaux et al, NIM A 1046 (2023) 167631





- 2019-2021 : Premiers test en mode bunché (PostDoc A. Husson 3 ans)
  - Transmission bonne mais pas mesurée de manière précise et fiable (diag à étudier)
  - Dispersion en temps de quelques 100 ns à 3 keV
  - Mesure dispersion en énergie <10 eV mais limitée par le système de détection

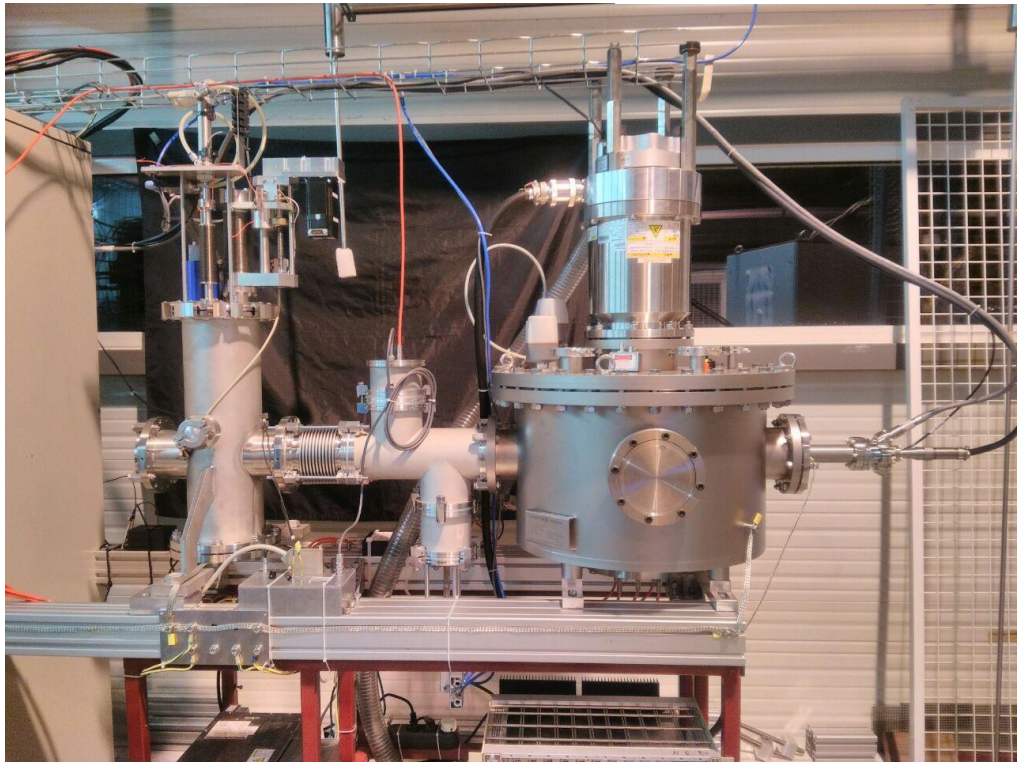


NEX : P. Ascher, M. Gerbaux, S. Grévy
Instrumentation : P. Alfaurt, L. Daudin, B. Lachacinski
Mécanique : S. Perard, Atelier

GPIB

2021-2022: Montage et mise en service banc de test avec source ionisation surface (A. Husson)

- Développements EPICS
- Optimisation diag dispersion en énergie
- Première utilisation émittancemètre en bunché



To do

Banc de test

- Etude et calib des diag (haute et basse intensité)
- Etude et optimisation mesure de dispersion en énergie
- Mesure d'émittances transverses
- + tests du déflecteur 90°

GPIB

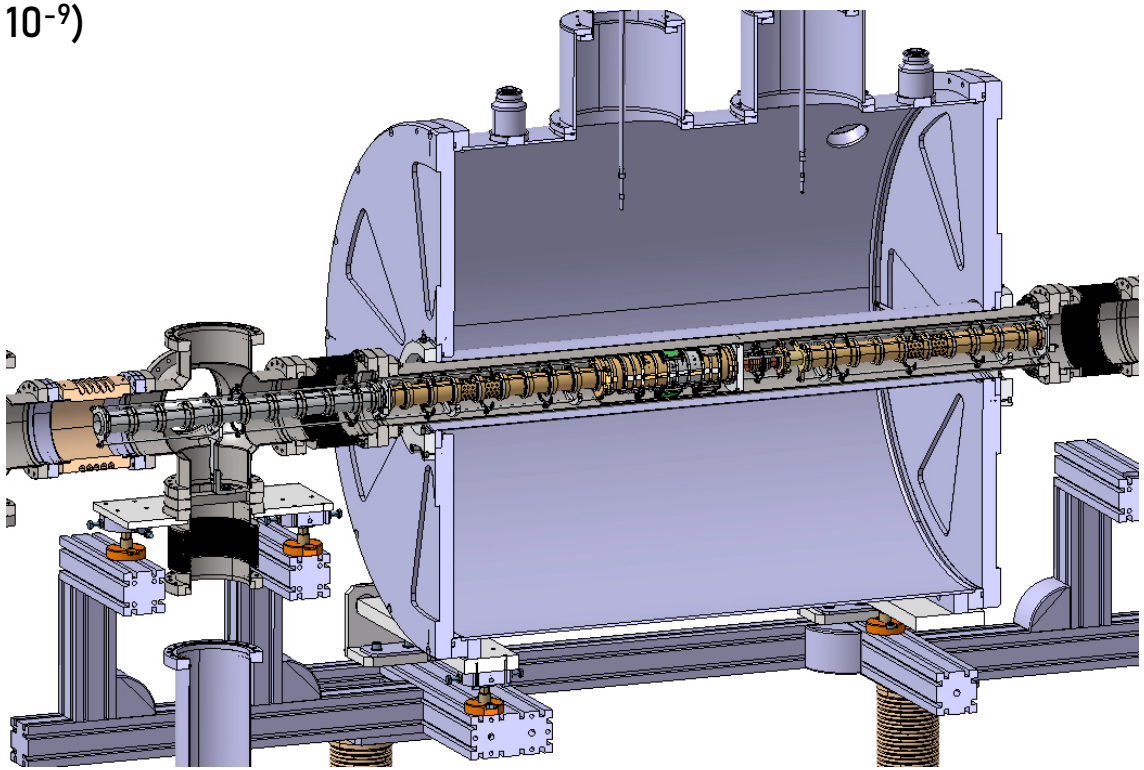
- Mesures et optimisation dispersion en énergie
- Transmission en mode bunché
- Mesures émittance transverse en bunché
- Upgrade pour DESIR (Chassis, Pompage, PPGs, Switches, IHM Utilisateur …)

CDD EQUIPEX ouvert pour prendre la relève de Audric Husson

NEX : P. Ascher, M. Gerbaux, S. Grévy
Instrumentation : P. Alfaurt, L. Daudin, B. Lachacinski
Mécanique : S. Perard, Atelier

PIPERADE

Objectif : Purification (10^5 premier piège, 10^6 deuxième piège)
Mesures de masse TOF-ICR et PI-ICR (précision 10^{-8} – 10^{-9})



- 2012-2015 : Design et construction des pièges + simulations au MPIK Heidelberg
- 2017-2018 : Livraison de l'aimant et caractérisation/optimisation du champ magnétique + montage ligne
- 2019 – 2023 : Tests faisceau (Postdoc: A. de Roubin puis D. Atanasov,
  Doctorant : M. Hukkanen pendant 18 mois puis M. Flayol)
  + important travail développement soft pour contrôle/acquisition

PIPERADE

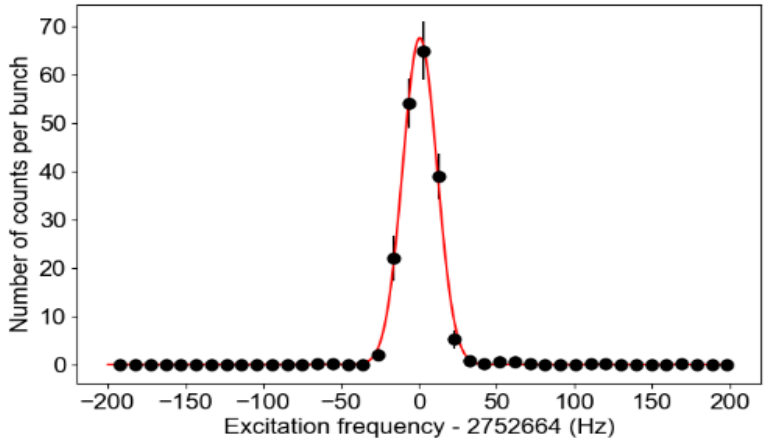
- Implémentation « sideband buffer gas cooling »
  → résolution 10^5

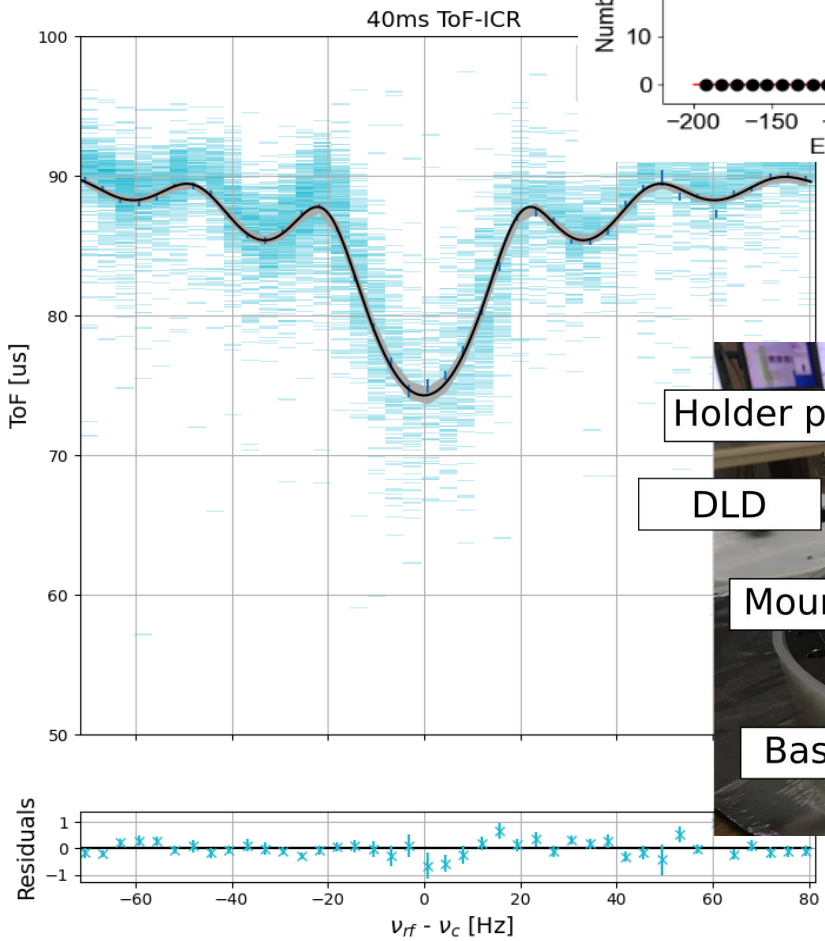
P. Ascher et al, NIMA 1019, 165857

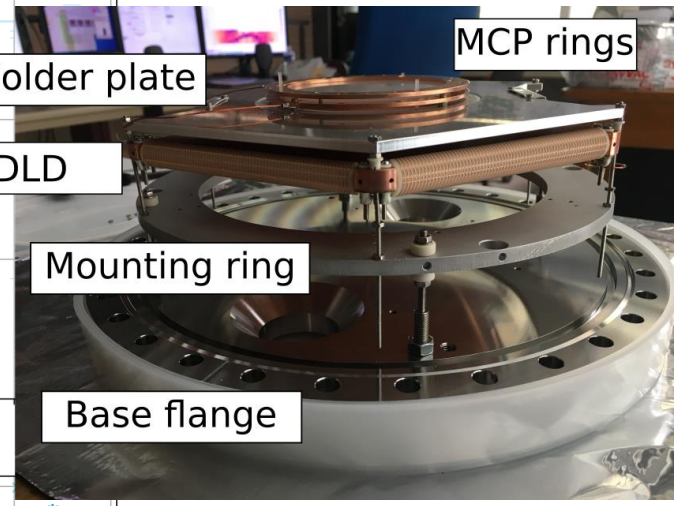
- TOF-ICR
  - Optimisation résonance
  - Etude anharmonicités champ électrique
  - Etude imperfections champ magnétique
  - Mesures ^{41}K vs ^{39}K

  → Mesures de masse de précision < 10^{-8}

- PI-ICR
  - Installation DLD et premières images







To-do
- Etudes BGC vs nombre d'ions
- ToF-ICR : systématiques
- PI-ICR : Premières mesures de masse
- Séparation haute résolution deuxième piège
- … → PostDoc IN2P3 Septembre 2023

\+ Upgrade DESIR (comme GPIB + Cryo)

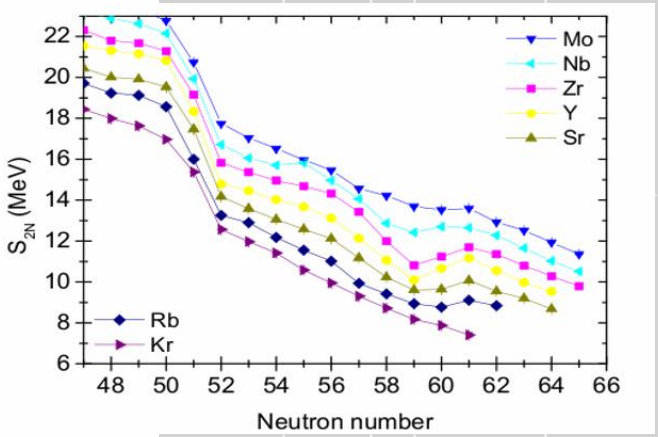
NEX : D. Atanasov (post-doc), M. Flayol (doctorant)
P. Ascher, M. Gerbaux, S. Grévy
Instru : P. Alfaurt, L. Daudin, B. Lachacinski
Mécanique : S. Perard, Atelier

Déménagement 2025 + Futur de PIPERADE au-delà de 2026 (DESIR) : nécessite un travail continu à 100% d'optimisation
Soutien RH indispensable au GANIL (CR + technique) pour installation ET exploitation

- DESIR/SPIRAL2
- Développements au LP2iB pour DESIR
  - HRS
  - GPIB
  - PIPERADE
- Mesures de masse (ISOLTRAP/ISOLDE, JYFLTRAP/IGISOL)

Spectrométrie de masse

$M(N,Z) = Z\,M_p + N\,M_n - BE(N,Z)$



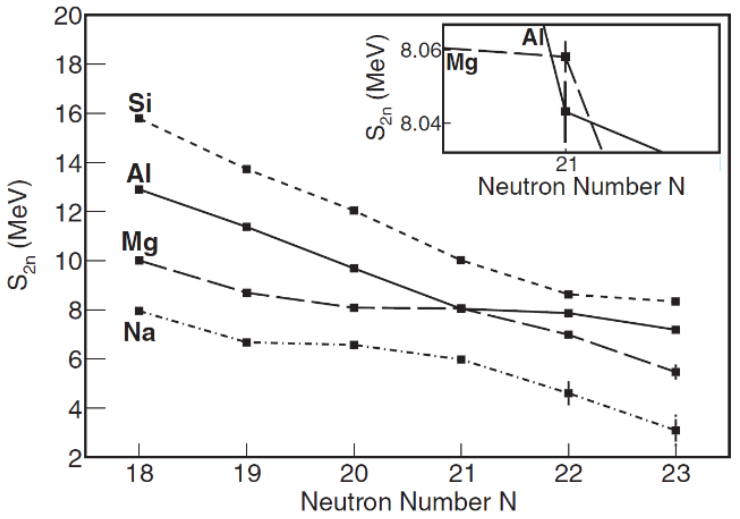
Deformation entre Zr et Sn

Evolution N=40 ($^{68\text{-}71}$Co, $^{68\text{-}69}$Fe)
Evolution N=50 (^{76}Ni, ^{81}Zn, …)

Ilôt d'inversion autour de N=20

PRÉCISION sur la MASSE (keV)
- u < 1
- 1 ≤ u < 2
- 2 ≤ u < 4
- 4 ≤ u < 12
- 12 ≤ u < 60
- 60 ≤ u < 200
- 200 ≤ u
- Masse Extrapolée

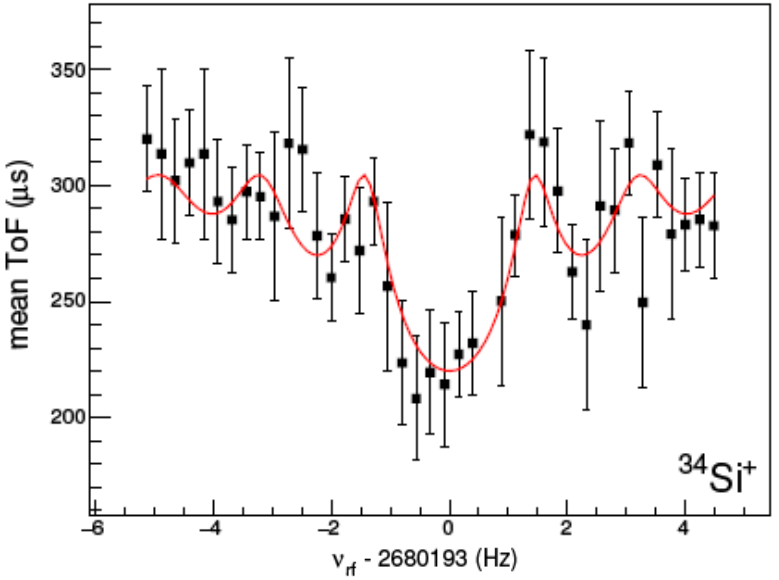
Ilôt d'inversion autour de N=20



- Unique croisement de S2n de Al et Mg à N=21

- Expérience à ISOLTRAP en 2016
  - Mesure des masses de ^{34}Al et ^{33}Mg confirment ce croisement
  - Mesure de masse de ^{34}Mg : *shell gap* extrêmement faible
  - Double in-trap decay pour ^{34}Si

→ *P. Ascher et al., PRC 100 (2019) 014304*



En parallèle, expérience de spectro beta-gamma à ISOLDE (IDS)

→ schémas de niveau complet de ^{34}Al et ^{34}Si

→ Comparaison à des calculs modèle en couches

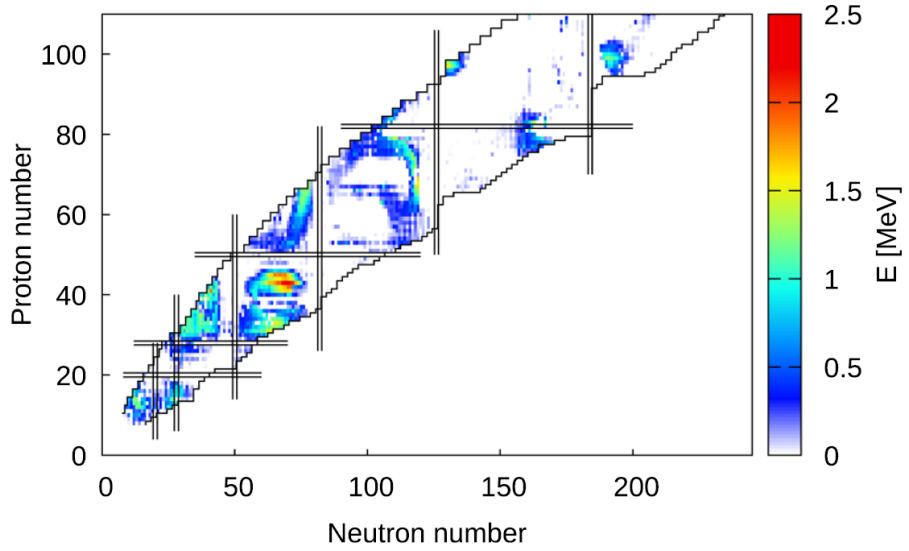
→ *R. Lica et al, PRC 100 (2019) 034306*

NEX : P. Ascher, S. Grévy

Mesures des masse de noyaux riches en neutrons autour de A=110-120

- Région triaxialité et possible changement brusque de forme
- Région autour de Z=45 réfractaire ! → IGISOL
- Autour de Z=45, beaucoup d'isomères → PI-ICR (mesures précédentes, uniquement TOF-ICR)

Différence énergies de liaison BSKG1 axial-triaxial

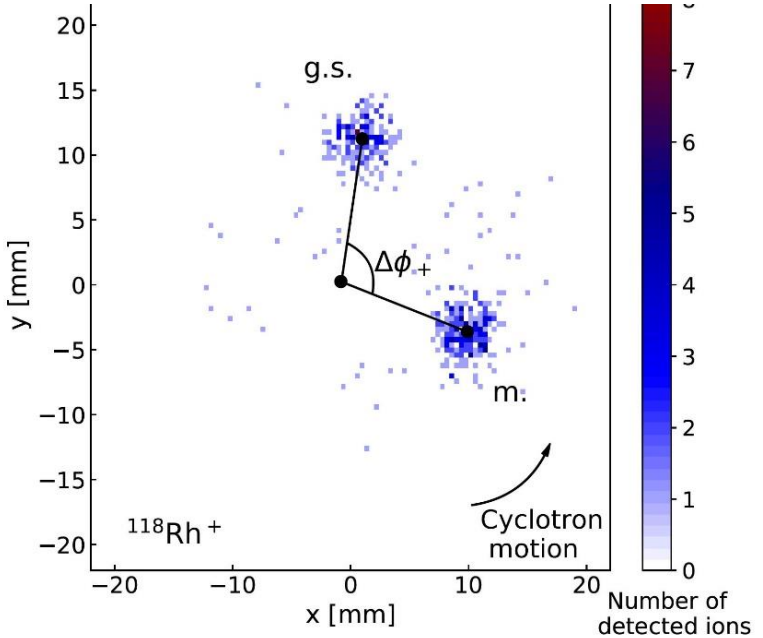


Expérience à IGISOL/JYFL : 1er run en octobre 2019, 2ème en octobre 2020 (à distance)

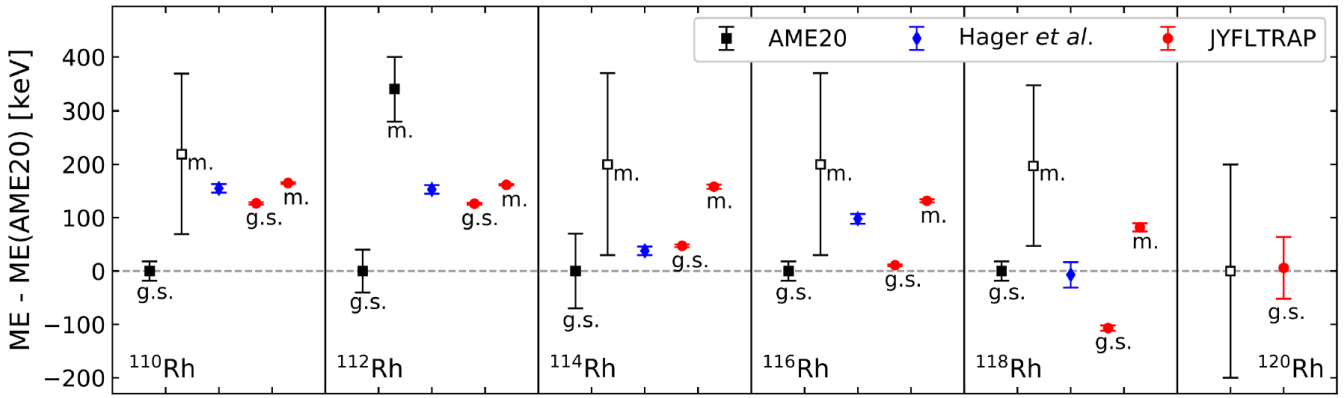
23 masses ont été mesurées: 15 états fondamentaux et 8 isomères
^{110,110m}Rh, ^{112,112m}Rh, ^{114,114m}Rh, ^{116,116m}Rh, ^{118,118m}Rh et ^{120}Rh
^{113,113m}Ru, ^{115,115m}Ru and ^{117}Ru
^{104}Y, ^{106}Zr, ^{104,104m}Nb, ^{109}Nb, ^{111}Mo

Isomères séparés grâce à PI-ICR
→ énergie d'excitation mesurée
→ masse du fondamental correcte !

Cas du 112Rh → état haut spin peuplé par fission, état bas spin peuplé par in-trap decay de 112Ru



Mesures des masse de noyaux riches en neutrons autour de A=110-120

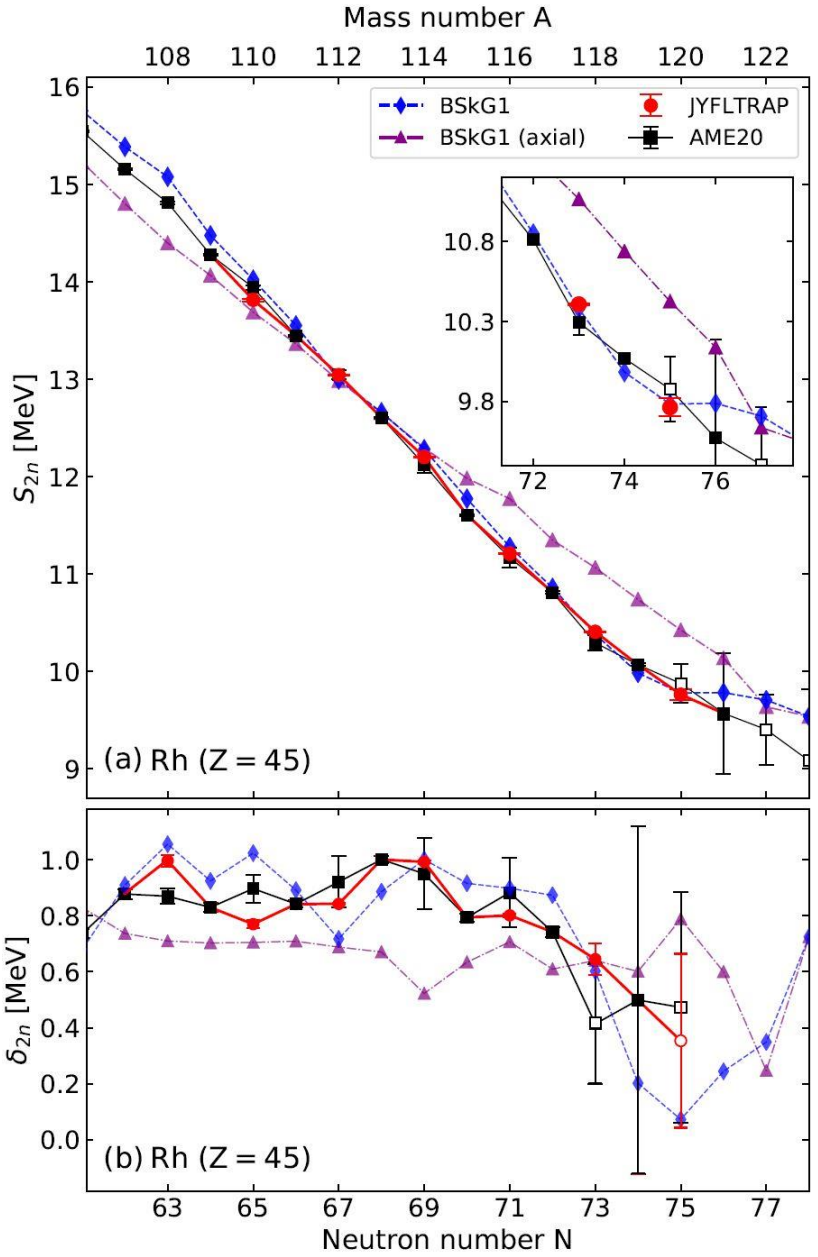


- Analyse par Marjut Hukkanen, doctorante en cotutelle avec l'université de Jyväskylä → soutenance 21 juillet 2023

- Collaboration avec W. Ryssens et M. Bender
  →BSKG1 : autorise formes non-axiales (brisure de symétrie axiale) et calculs pour impair-impair

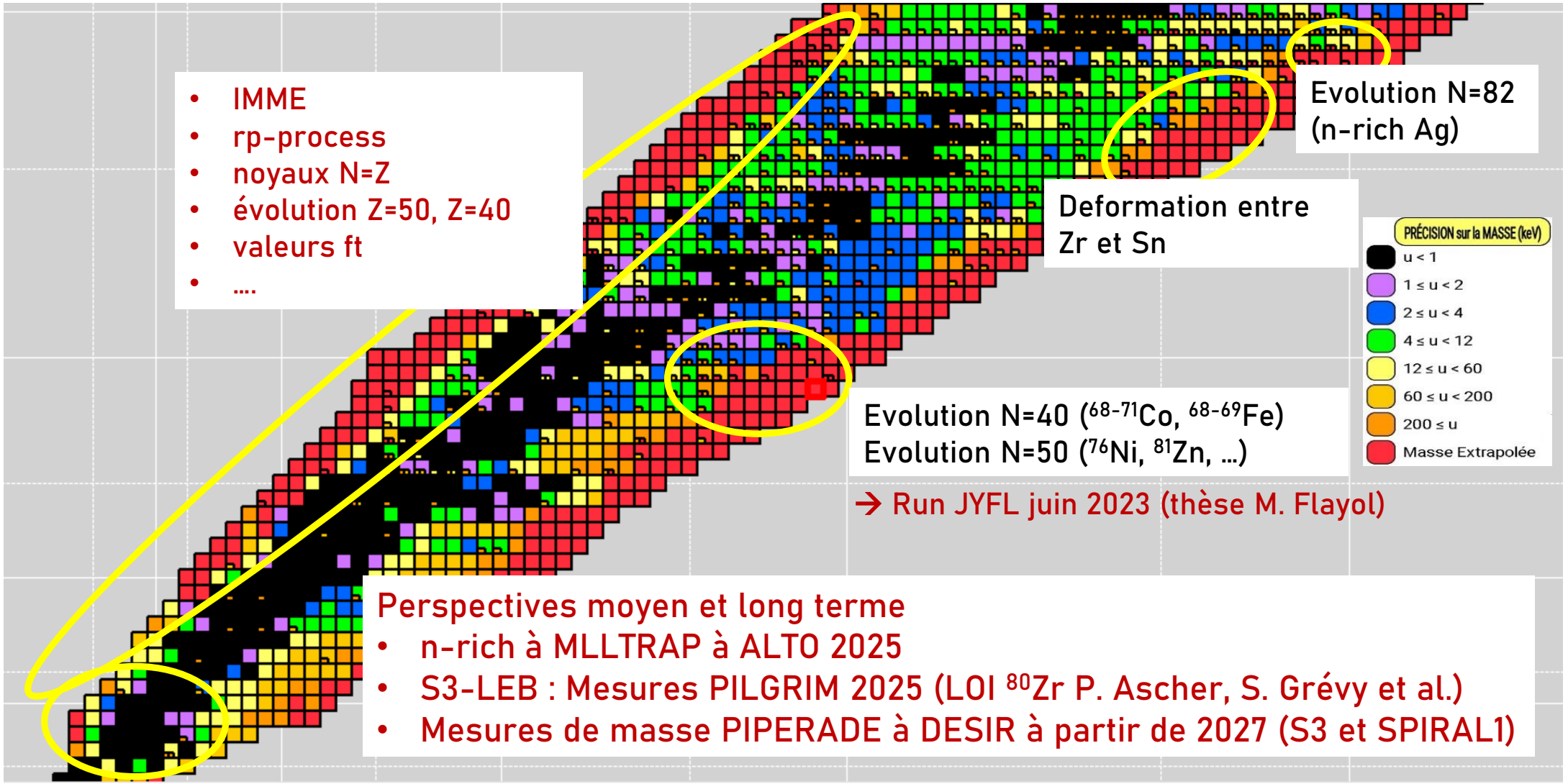
- Comparaisons Exp/Modèles
  - Importance de la triaxialité dans les Rh et Ru
  - Tests du modèle (masses, tendances S2n, Δ2n, Δ3n, …)
  - Tentative d'interprétation des isomères

→ Rhodium impair-impair : M. Hukkanen et al., PRC 107, 014306
→ Ruthenium : M. Hukkanen et al, bientôt soumis à PRC
→ Masses plus légères (de Y à Tc) : papier en preparation



NEX : P. Ascher, S. Grévy, M. Hukkanen (doctorante)

Spectrométrie de masse : Perspectives



- IMME
- rp-process
- noyaux N=Z
- évolution Z=50, Z=40
- valeurs ft
- ….

Evolution N=82 (n-rich Ag)

Deformation entre Zr et Sn

Evolution N=40 ($^{68-71}$Co, $^{68-69}$Fe)
Evolution N=50 (^{76}Ni, ^{81}Zn, …)

→ Run JYFL juin 2023 (thèse M. Flayol)

Perspectives moyen et long terme
- n-rich à MLLTRAP à ALTO 2025
- S3-LEB : Mesures PILGRIM 2025 (LOI ^{80}Zr P. Ascher, S. Grévy et al.)
- Mesures de masse PIPERADE à DESIR à partir de 2027 (S3 et SPIRAL1)

NEX : D. Atanasov, P. Ascher, B. Blank, M. Flayol, M. Gerbaux, S. Grévy