

Physique nucléaire de basse énergie sur les installations de type ISOL

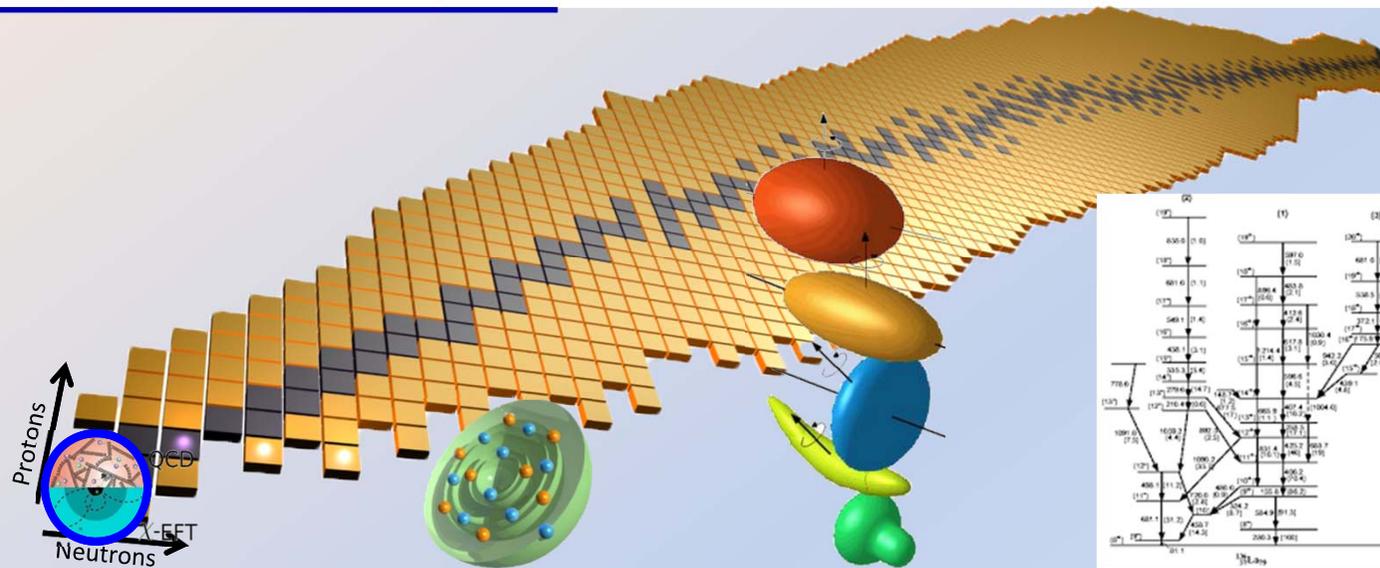
Les grands enjeux en structure nucléaire

Grandes questions et thèmes de recherche Présentation des équipes, collaborations et développements

- Les grandes questions en physique nucléaire
- Spécificités de la méthode ISOL
- Les grandes questions pouvant être étudiées par la méthode ISOL
- Panorama Français
- Conclusion

Les grandes questions en physique nucléaire

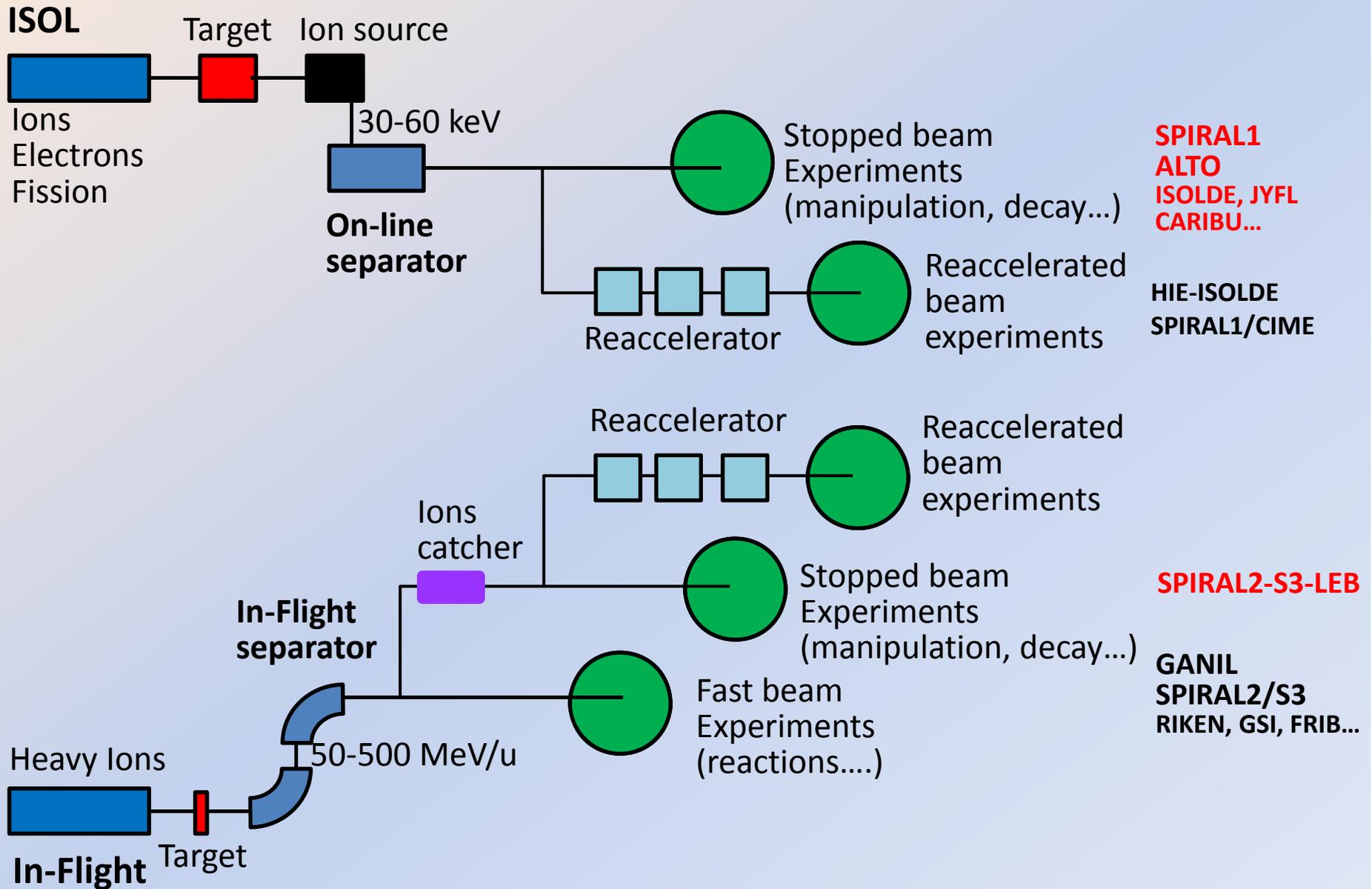
issues du rapport NUPEEC 2016/2017



- I - Comment les noyaux et leur diversité émergent des interactions fondamentales ?
- II- Comment change la structure nucléaire dans la carte des noyaux et quelles formes les noyaux peuvent ils acquérir ?
- III- Comment la structure des noyaux change t-elle avec la température et le moment angulaire ?
- IV- Comment unifier les approches décrivant la structure et les réactions ?
- V- Quelle est la complexité des excitations nucléaires ?
- VI- Comment les corrélations apparaissent dans la matière neutronique diluée, à la fois pour la structure et dans la dynamique ?
- VII- Quelle est la dépendance en densité et en isospin de l'équation d'état de la matière nucléaire ?

Spécificités de la méthode ISOL

Production



Spécificités de la méthode ISOL

Production

ISOL

Ions
Electrons
Fission

Target

Ion source

30-60 keV

On-line separator

In-Flight separator

Ions catcher

50-500 MeV/u

Heavy Ions

In-Flight

Target

Precision Frontier

↑ mesures de "précision" ↓

noyaux exotiques ↓

Discovery Frontier

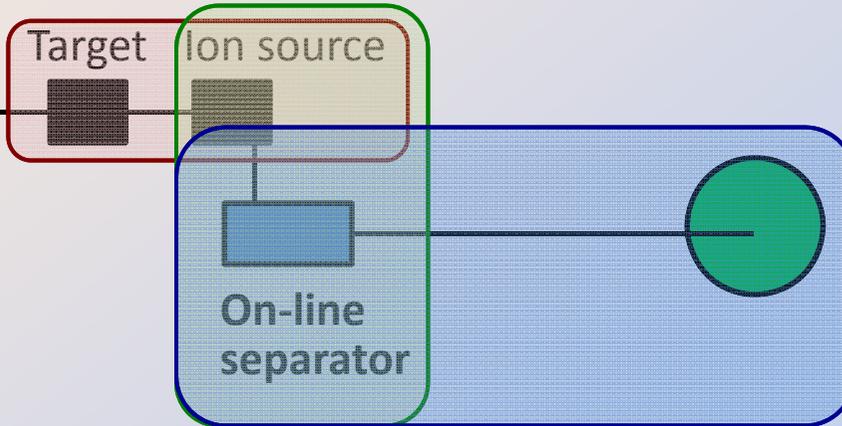
Spécificités de la méthode ISOL

☐ Méthodes et Techniques

ISOL



Ions
Electrons



Ion source:																	
+ Surface -																	
hot Plasma cool																	
Laser																	
1 H																	2 He
3 Li	4 Be																10 Ne
11 Na	12 Mg																18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	** 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg							
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb				
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No				

Important travail de développement

- Pour produire et extraire des faisceaux
- Pour sélectionner / manipuler les ions d'intérêts
- Pour améliorer les techniques expérimentales

Les succès de la physique type ISOL reposent sur un développement constant des *méthodes de production et sélection* et des *techniques expérimentales*.

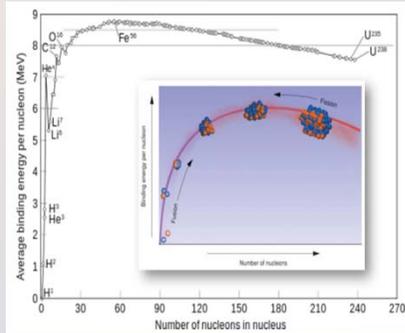
La plupart de ces développements proviennent d'efforts *conjointes* entre les physiciens et les services techniques des laboratoires impliqués

Spécificités de la méthode ISOL

□ Precision frontier

Précision sur la mesure de l'observable → modèles, physique sous-jacente...

$\Delta M/M$ (A=100)
~10⁻⁵

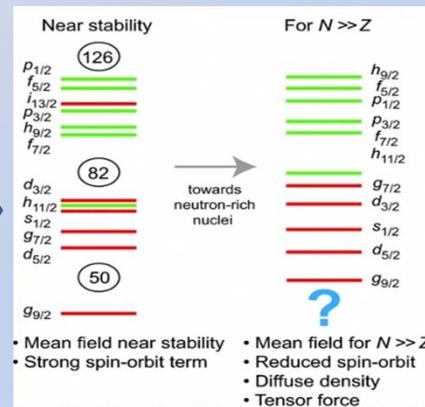
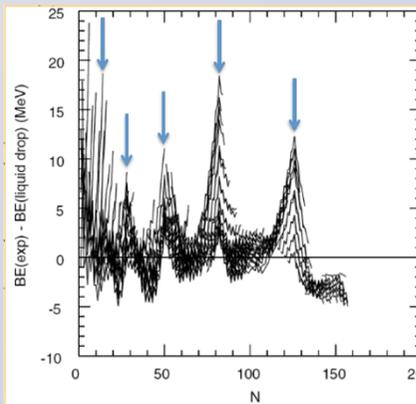


$$B(Z,A) = a_v A + a_s A^{2/3} + a_c Z^2/A^{1/3} + a_A (N-Z)^2/A - a_p/A^{1/2}$$

Volume term $a_v = -15.68$ MeV
 Surface term $a_s = 18.56$ MeV
 Coulomb term $a_c = 0.717$ MeV
 Asymmetry term $a_A = 28.1$ MeV
 Pairing term $a_p = 12.0$ MeV
 (+) even-even
 (-) odd-odd
 (0) even-odd

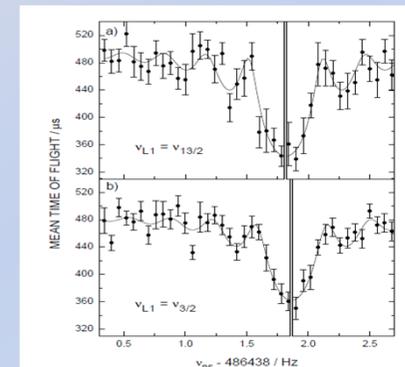
B/A : goutte liquide
→ fission

$\Delta M/M$ (A=100)
~10⁻⁶-10⁻⁷



S2n : modèle en couches
→ modification nombres magiques
→ forces tenseur, 3N....

$\Delta M/M$ (A=100)
~10⁻⁸-10⁻¹⁰



Isomères → spectroscopie, production de faisceaux isomériques...

Q_{beta} : étude des interactions fondamentales
→ modèle standard

Les grandes questions pouvant être étudiées par la méthode ISOL

❑ issues document stratégique ISOL France

1) Comment évolue l'interaction nucléaire en fonction de l'isospin ?

- Quelle est la dépendance en isospin de l'interaction spin-orbite ?
- Comment la structure en couche se modifie-t-elle loin de la stabilité ?

2) Comment expliquer les phénomènes collectifs à partir des mouvements individuels ?

- Peut-on
- champ
- Comm

- Illustrer chacune de ces questions avec un ou plusieurs Highlights

3) Quelle

- Quels
- Quel e

- Issus du travail de la communauté française (leader ou collaborations)

- Exemples emblématiques de la technique ISOL

4) Quelle

- La ma
- Existe
- Existe

- Dans des domaines ou de nombreuses questions restent ouvertes pour l'avenir

5) Quel est l'impact de la physique nucléaire sur les autres disciplines

- Quel sont les noyaux pertinents pour le fonctionnement et la sûreté des réacteurs nucléaires ?
- Quel est l'impact des propriétés nucléaires sur la physique des réacteurs nucléaires ?
- Quels sont les noyaux pertinents pour la physique des neutrinos ?
- Quel est l'impact des propriétés nucléaires sur la physique des neutrinos ?

-delà du

1) Comment évolue l'interaction nucléaire en fonction de l'isospin ?

- Quelle est la dépendance en isospin de l'interaction spin-orbite ?
- Comment la structure en couche se modifie t'elle loin de la stabilité ?

LETTER

doi:10.1038/nature12226

Masses of exotic calcium isotopes pin down nuclear forces

F. Wienholt¹, D. Beck², K. Blaum³, Ch. Borgmann³, M. Breitenfeldt⁴, R. B. Cakiri^{3,5}, S. George¹, F. Herfurth², J. D. Holt^{6,7}, M. Kowalska⁸, S. Kreim^{3,8}, D. Lunney⁹, V. Manea⁹, J. Menéndez^{6,7}, D. Neidherr², M. Rosenbusch¹, L. Schweikhard¹, A. Schwenk^{7,6}, J. Simonis^{6,7}, J. Stanja¹⁰, R. N. Wolf¹ & K. Zuber¹⁰

ARTICLES

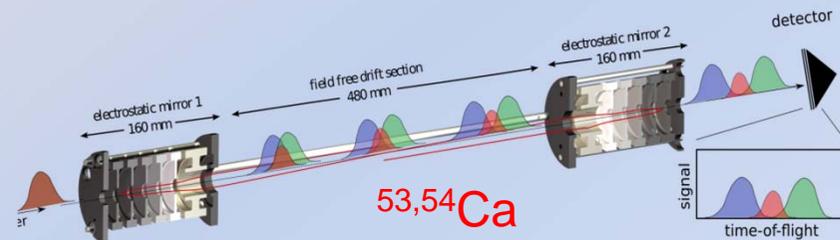
PUBLISHED ONLINE: 8 FEBRUARY 2016 | DOI: 10.1038/NPHYS3645

nature
physics

Unexpectedly large charge radii of neutron-rich calcium isotopes

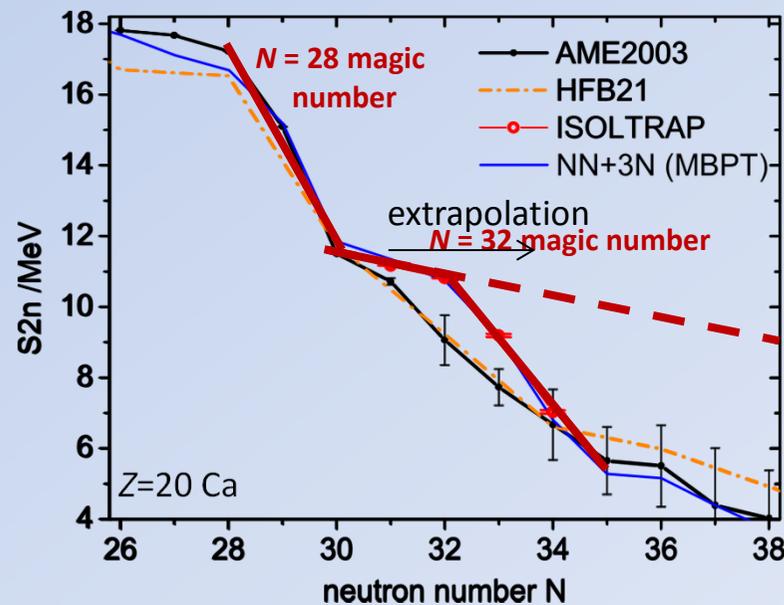
R. F. Garcia Ruiz^{1*}, M. L. Bissell^{1,2}, K. Blaum³, A. Ekström^{4,5}, N. Frömmgen⁶, G. Hagen⁴, M. Hammen⁶, K. Hebeler^{7,8}, J. D. Holt⁹, G. R. Jansen^{4,5}, M. Kowalska¹⁰, K. Kreim³, W. Nazarewicz^{4,11,12}, R. Neugart^{3,6}, G. Neyens¹, W. Nörtershäuser^{6,7}, T. Papenbrock^{4,5}, J. Papuga¹, A. Schwenk^{3,7,8}, J. Simonis^{7,8}, K. A. Wendt^{4,5} and D. T. Yordanov^{3,13}

1) Comment évolue l'interaction nucléaire en fonction de l'isospin ?



LETTER
 Masses of exotic calcium isotopes pin down nuclear forces
 F. Wienholtz¹, D. Beck², K. Blaum³, Ch. Borgmann³, M. Breitenfeldt⁴, R. B. Cakiri^{5,6}, S. George¹, F. Herfurth⁷, J. D. Holt^{6,7}, M. Kowalski⁸, S. Krein^{9,10}, D. Lunney¹¹, V. Maras¹², J. Menéndez¹³, D. Neidhart¹⁴, M. Rosenbusch¹⁵, L. Schweikhard¹⁶, A. Schwenk¹⁷, J. Simons¹⁸, J. Stanija¹⁹, R. N. Wolf²⁰ & K. Zuber¹⁶
 ISOLTRAP collaboration

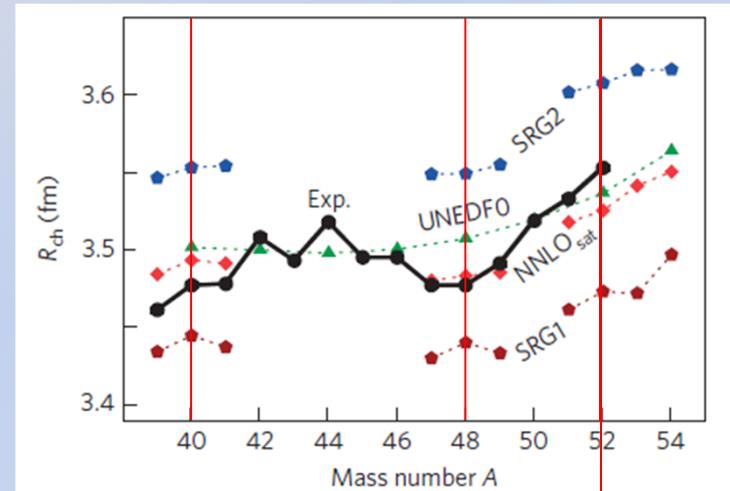
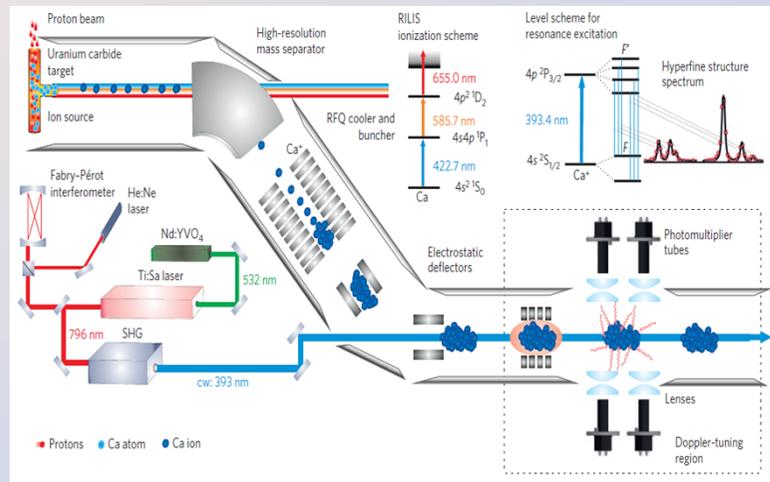
- Taux de production ~10 ions/s
- Mesures de masses : → S_{2n}
Mise en évidence d'un nouveau nombre "magique" a $N = 32$
- Predictions correctes en incluant une force à 3 corps (A. Schwenk *et al.*)



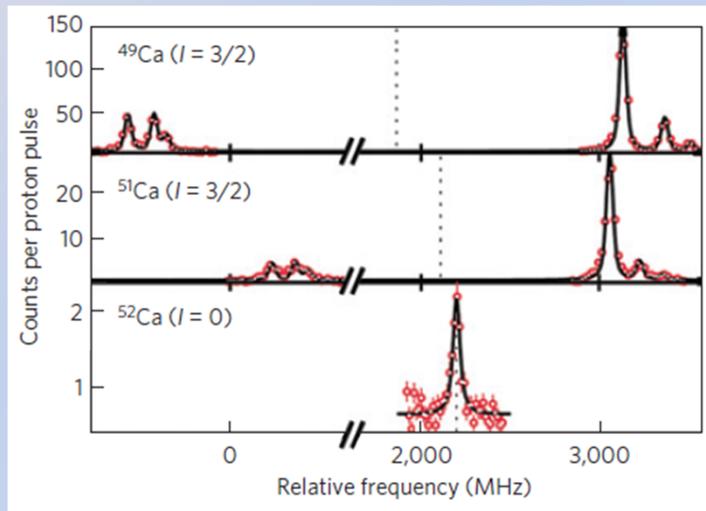
F. Wienholtz *et al.*, Nature 498, 346 (2013)

1) Comment évolue l'interaction nucléaire en fonction de l'isospin ?

- Modification de la taille du noyau → modification de la structure hyperfine (interaction cortège-noyau)



- Première mesure de la structure hyperfine des ^{49,51,52}Ca

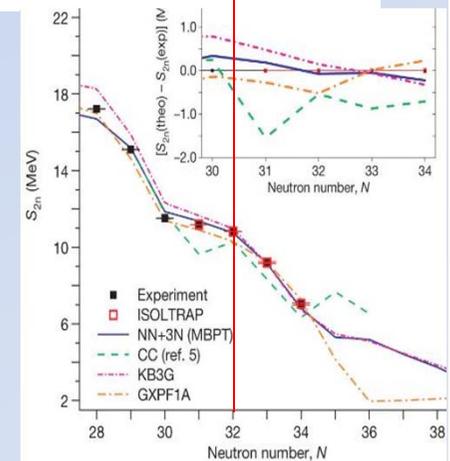


décalage isotopique



Modification du rayon carré de charge moyen

$$\delta v^{A,A'} = (K_{NMS} + K_{SMS}) \times \frac{A - A'}{AA'} + F \times \delta \langle r^2 \rangle^{A,A'}$$



nature physics
 ARTICLES
 PUBLISHED ONLINE 9 FEBRUARY 2016 | DOI: 10.1038/NPHYS3645
 R. F. Garcia Ruiz^{1*}, M. L. Bissell^{1,2}, K. Blaum³, A. Ekström^{4,5}, N. Frömmgen⁶, G. Hagen⁷, M. Hammen⁶, K. Hebel^{7,8}, J. D. Holt⁹, G. R. Jansen^{4,5}, M. Kowalska¹⁰, K. Kreim³, W. Nazarewicz^{4,11,12}, R. Neugart^{3,6}, G. Neyens¹, W. Nörtershäuser^{6,7}, T. Papenbrock^{4,5}, J. Papuga¹, A. Schwenk^{2,7,8}, J. Simons^{2,7,8}, K. A. Wendt^{4,5} and D. T. Yordanov^{3,13}

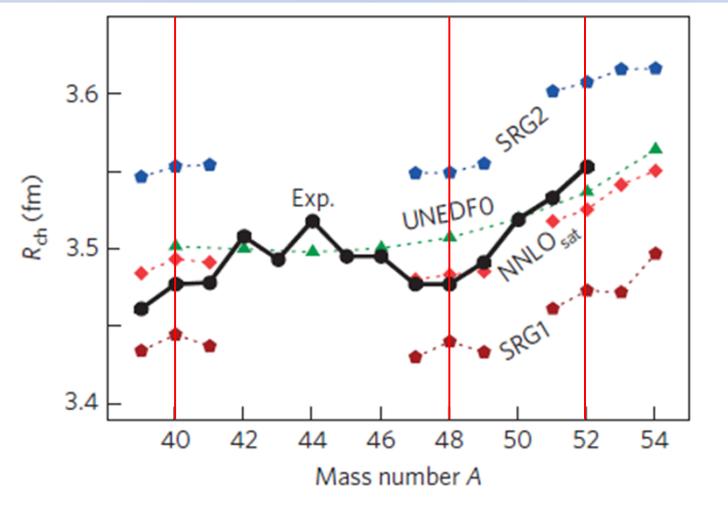
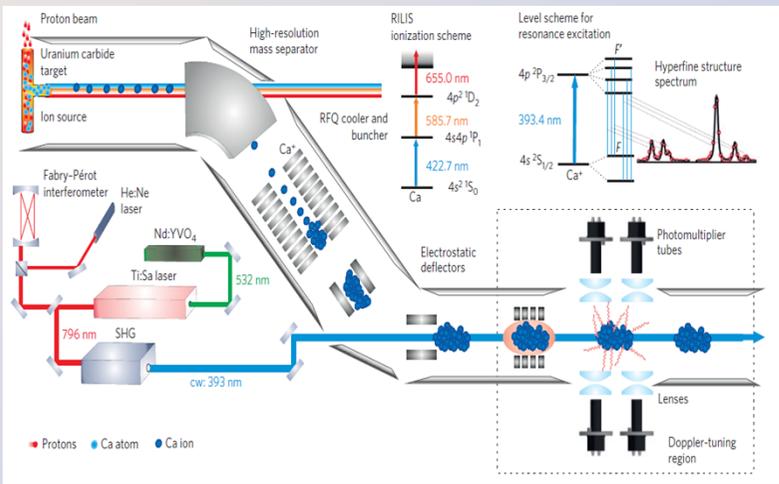
COLLAPS collaboration

Les grandes questions pouvant être étudiées par la méthode ISOL

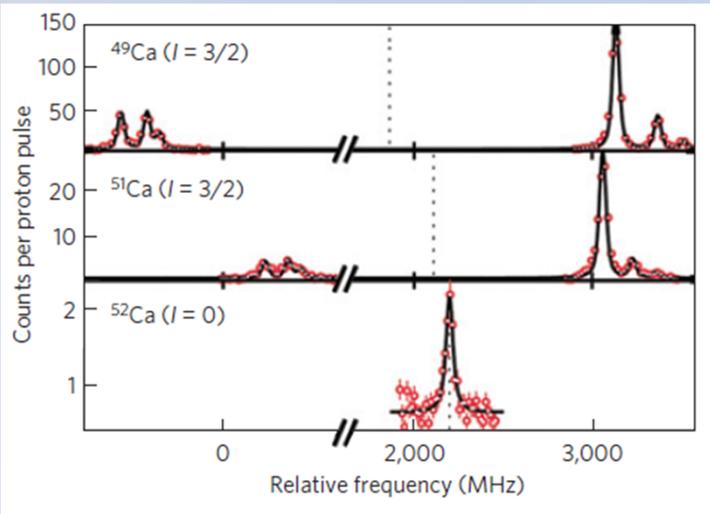
issues document stratégique ISOL France

1) Comment évolue l'interaction nucléaire en fonction de l'isospin ?

- Modification de la taille du noyau → modification de la structure hyperfine (interaction cortège-noyau)



- Première mesure de la structure hyperfine des ^{49,51,52}Ca



- Augmentation inattendue (si magique) du R_{charge} entre ⁴⁸Ca et ⁵²Ca:

→ ouverture du cœur proton Z=20 ?

- Calculs Ab initio avec force 3 corps (NNLO) :

→ augmentation entre ⁴⁸Ca et ⁵²Ca mais trop faible

→ manque des états intrus déformés ?

Encore des choses à comprendre !

nature physics
ARTICLES
PUBLISHED ONLINE 8 FEBRUARY 2016 | DOI: 10.1038/NPHYS3645
R. F. Garcia Ruiz^{1*}, M. L. Bissell^{1,2}, K. Blaum³, A. Ekström^{4,5}, N. Frömmgen⁶, G. Hagen⁷, M. Hammen⁶, K. Hebel^{7,8}, J. D. Holt⁹, G. R. Jansen^{4,5}, M. Kowalska¹⁰, K. Kreim³, W. Nazarewicz^{4,11,12}, R. Neugart^{3,6}, G. Neyens¹, W. Nörtershäuser^{6,7}, T. Papenbrock^{4,5}, J. Papuga¹, A. Schwenk^{2,7,8}, J. Simons^{2,7,8}, K. A. Wendt^{4,5} and D. T. Yordanov^{3,13}
COLLAPS collaboration

2) Comment expliquer les phénomènes collectifs à partir des mouvements individuels ?

- Peut-on décrire l'équilibre entre les effets de champ moyen sphérique et les corrélations au-delà du champ moyen ?
- Comment l'îlot de stabilité des noyaux supers lourds émerge de cet équilibre ?

PRL **116**, 182501 (2016) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending 6 MAY 2016



First Evidence of Shape Coexistence in the ^{78}Ni Region: Intruder 0_2^+ State in ^{80}Ge

A. Gottardo,^{1,*} D. Verney,¹ C. Delafosse,¹ F. Ibrahim,¹ B. Roussière,¹ C. Sotty,² S. Rocchia,³ C. Andreoiu,⁴ C. Costache,² M.-C. Delattre,¹ I. Deloncle,³ A. Etilé,⁵ S. Franchoo,¹ C. Gaulard,³ J. Guillot,¹ M. Lebois,¹ M. MacCormick,¹ N. Marginean,² R. Marginean,² I. Matea,¹ C. Mihai,² I. Mitu,² L. Olivier,¹ C. Portail,¹ L. Qi,¹ L. Stan,² D. Testov,^{6,7} J. Wilson,¹ and D. T. Yordanov¹

¹*Institut de Physique Nucléaire, CNRS-IN2P3, Université Paris-Sud, Université Paris-Saclay, 91406 Orsay Cedex, France*
²*Horia Hulubei National Institute for Physics and Nuclear Engineering, Bucharest-Măgurele, Romania*
³*CSNSM, CNRS-IN2P3, Université Paris-Sud, Université Paris-Saclay, 91406 Orsay Cedex, France*
⁴*Department of Chemistry, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia V5A 516, Canada*
⁵*University of Helsinki, Helsinki, Finland*
⁶*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Legnaro, 35020 Legnaro, Italy*
⁷*Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia*


nature COMMUNICATIONS

Received 25 Aug 2016 | Accepted 9 Jan 2017 | Published 22 Feb 2017 DOI: 10.1038/ncomms14520 OPEN

Towards high-resolution laser ionization spectroscopy of the heaviest elements in supersonic gas jet expansion

R. Ferrer¹, A. Barzakh², B. Bastin³, R. Beerwerth^{4,5}, M. Block^{6,7,8}, P. Creemers¹, H. Grawe⁶, R. de Groot¹, P. Delahaye³, X. Fléhard⁹, S. Franchoo¹⁰, S. Fritzsche^{4,5}, L.P. Gaffney¹, L. Ghys^{1,11}, W. Gins¹, C. Granados¹, R. Heineke¹², L. Hijazi³, M. Huyse¹, T. Kron¹², Yu. Kudryavtsev¹, M. Laatiaoui^{6,7}, N. Lecesne³, M. Loiselet¹³, F. Lutton³, I.D. Moore¹⁴, Y. Martínez^{1,15}, E. Mogilevskiy^{1,16}, P. Naubereit¹², J. Piot³, S. Raeder¹, S. Rothe¹⁵, H. Savajols³, S. Sels¹, V. Sonnenschein¹⁴, J.-C. Thomas³, E. Traykov³, C. Van Beveren¹, P. Van den Bergh¹, P. Van Duppen¹, K. Wendt¹² & A. Zadvornaya¹


nature International weekly journal of science

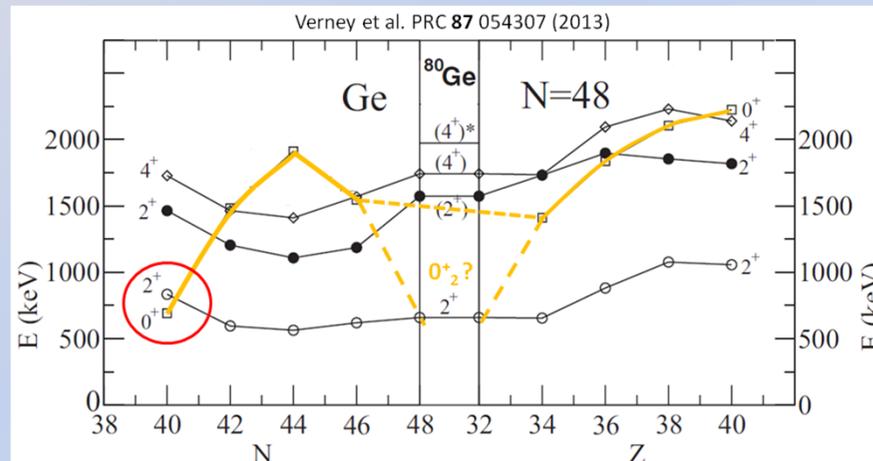
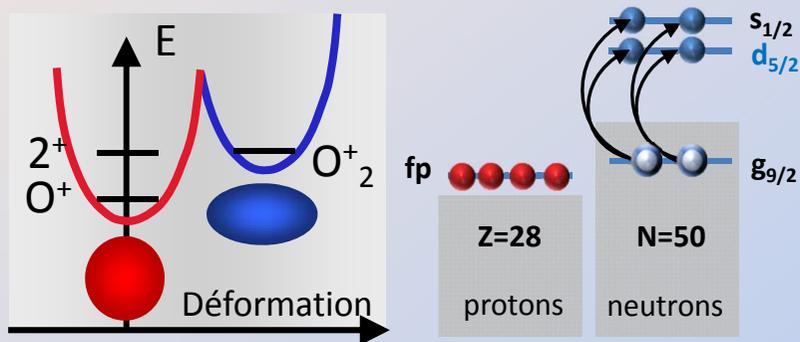
Atom-at-a-time laser resonance ionization spectroscopy of nobelium

Mustapha Laatiaoui, Werner Lauth, Hartmut Backe, Michael Block, Dieter Ackermann, Bradley Cheal, Premaditya Chhetri, Christoph Emanuel Düllmann, Piet van Duppen, Julia Even, Rafael Ferrer, Francesca Giacoppo, Stefan Götz, Fritz Peter Heßberger, Mark Huyse, Oliver Kaleja, Jadambaa Khuyagbaatar, Peter Kunz, Felix Lautenschläger, Andrew Kishor Mistry, Sebastian Raeder, Enrique Minaya Ramirez, Thomas Walther, Calvin Wraith & Alexander Yakushev

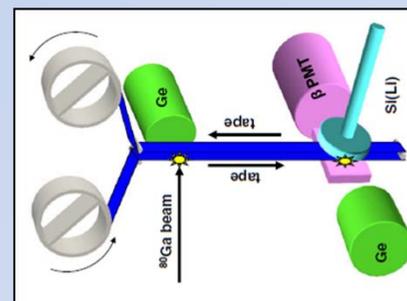
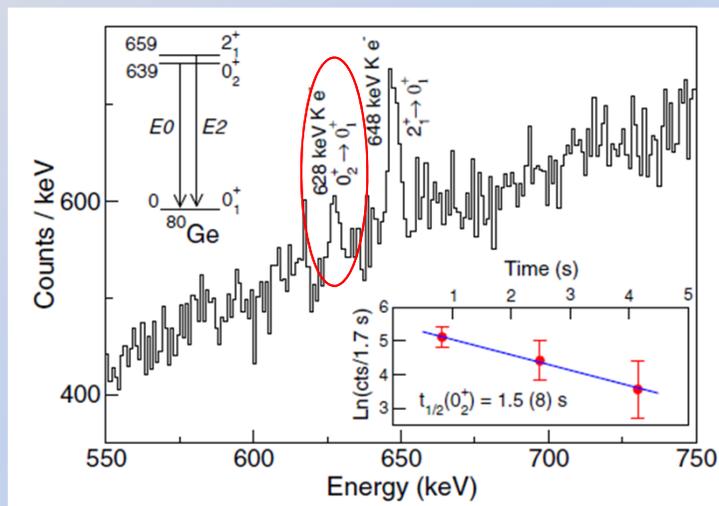
2) Comment expliquer les phénomènes collectifs à partir des mouvements individuels ?

- Etats 0^+_2 à basse énergie \rightarrow signature expérimentale de coexistence de forme

week ending 6 MAY 2016
PHYSICAL REVIEW LETTERS
PRL 116, 182501 (2016)
First Evidence of Shape Coexistence in the ^{78}Ni Region: Intruder 0^+_2 State in ^{80}Ge
ALTO - IPNO



- ^{80}Ge : expérience de spectroscopie β - γ -électrons
 \rightarrow Observation de la décroissance $0^+_2 \rightarrow 0^+_1$



- Possible indication de collectivité quadrupolaire
- Pas (encore) reproduit par les modèles théoriques
 \rightarrow utile pour mieux contraindre les interactions

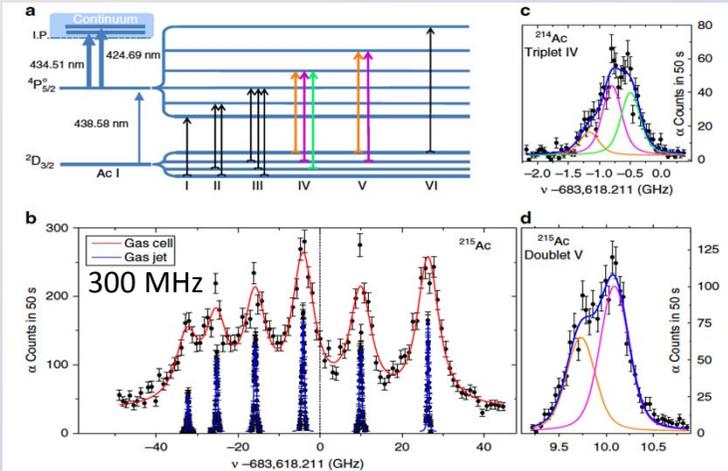
Les grandes questions pouvant être étudiées par la méthode ISOL

issues document stratégique ISOL France

2) Comment expliquer les phénomènes collectifs à partir des mouvements individuels ?

- Spectroscopie laser haute résolution des éléments lourds

COMMUNICATIONS
LISITIC
Received 25 Aug 2016; Accepted 9 Jan 2017; Published 22 Feb 2017
DOI: 10.1038/nature16100
OPEN
Towards high-resolution laser ionization spectroscopy of the heaviest elements in supersonic gas jet expansion



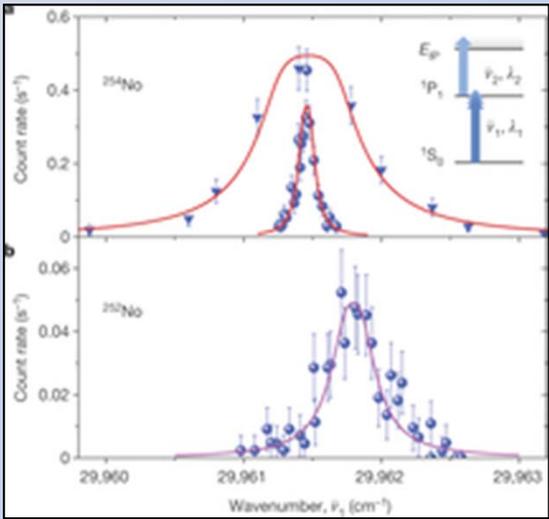
212-215Ac – région N=126

- spins nucléaires
- moments dipolaires magnétique
- moments quadropolaires électrique
- différence de rayons carré de charge moyen

→ premiers pas vers les expériences S3

- Spectroscopie laser résonnante du ²⁵⁴No

nature
International weekly journal of science
Atom-at-a-time laser resonance ionization spectroscopy of nobelium



254No – Z=102, N=152

- schéma d'ionisation
- potentiel d'ionisation → chimie

→ premiers pas vers la structure hyperfine

3) Quelle est l'origine des éléments dans l'univers ?

- Quels sont les noyaux pertinents pour comprendre les processus astrophysiques ?
- Quel est l'impact de leurs propriétés sur les modèles de nucléosynthèse ?

PRL **115**, 232501 (2015) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending
4 DECEMBER 2015

Precision Mass Measurements of $^{129-131}\text{Cd}$ and Their Impact on Stellar Nucleosynthesis via the Rapid Neutron Capture Process

D. Atanasov,¹ P. Ascher,¹ K. Blaum,¹ R. B. Cakirli,² T. E. Cocolios,³ S. George,¹ S. Goriely,⁴ F. Herfurth,⁵ H.-T. Janka,⁶ O. Just,⁶ M. Kowalska,⁷ S. Kreim,^{1,7} D. Kisler,¹ Yu. A. Litvinov,^{1,5} D. Lunney,⁸ V. Manea,⁸ D. Neidherr,⁵ M. Rosenbusch,⁹ L. Schweikhard,⁹ A. Welker,¹⁰ F. Wienholtz,⁹ R. N. Wolf,¹ and K. Zuber¹⁰

¹Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg, Germany
²Department of Physics, University of Istanbul, 34134 Istanbul, Turkey
³University of Manchester, Manchester M13 9PL, United Kingdom
⁴Institut d'Astronomie et d'Astrophysique, CP-226, Université Libre de Bruxelles, 1050 Brussels, Belgium
⁵GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, 64291 Darmstadt, Germany
⁶Max-Planck-Institut für Astrophysik, Postfach 1317, 85741 Garching, Germany
⁷CERN, 1211 Geneva, Switzerland
⁸CSNSM-IN2P3-CNRS, Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France
⁹Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Institut für Physik, 17487 Greifswald, Germany
¹⁰Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, Germany

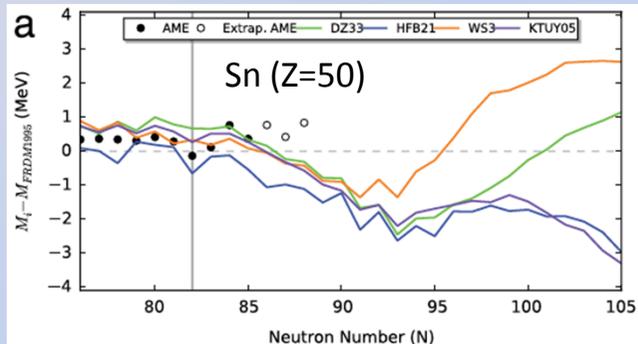
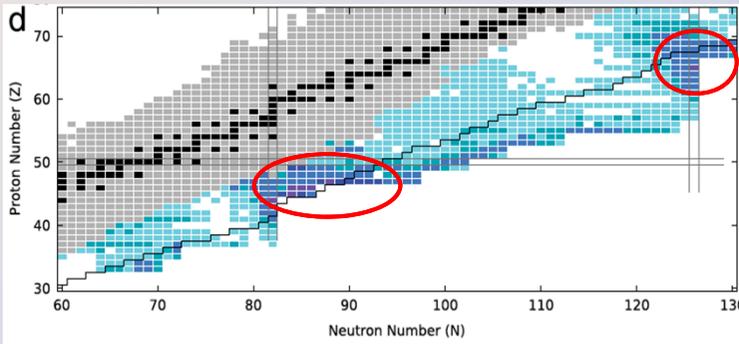
Les grandes questions pouvant être étudiées par la méthode ISOL

issues document stratégique ISOL France

3) Quelle est l'origine des éléments dans l'univers ?

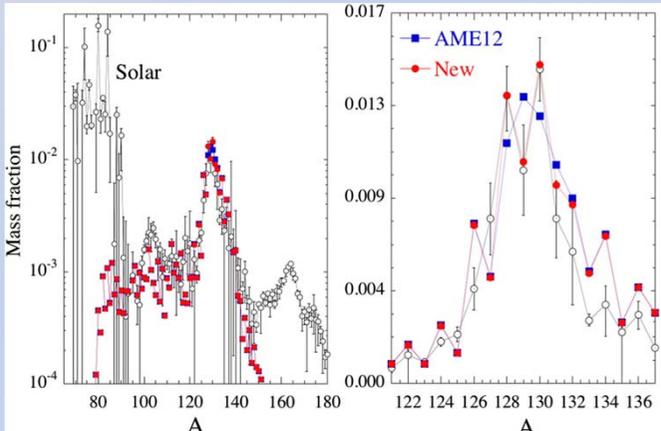
- Les modélisations du processus r ont besoin de données de physique nucléaire :

- masses
- $T_{1/2}$ et $\sigma_{(n,\gamma)}$
- Pn

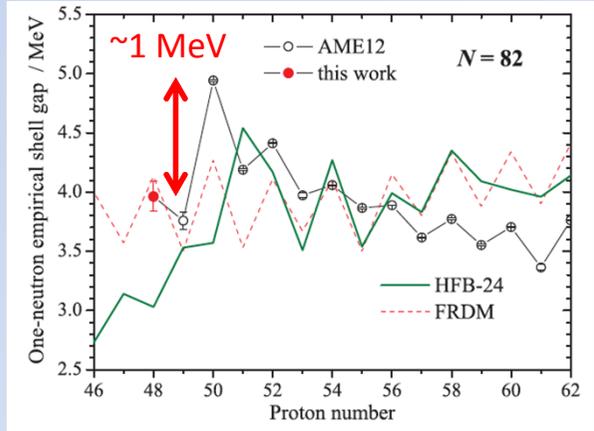


- Masses des $^{129-131}\text{Cd}$ mesurés avec Piège de Penning et MR-TOF-MS

→ Impact sur les abondances dans la région A=128-132



→ Réduction du gap N=82 de 1 MeV entre ^{132}Sn et ^{130}Cd



week ending 4 DECEMBER 2015
 PHYSICAL REVIEW LETTERS
 Precision Mass Measurements of $^{129-131}\text{Cd}$ and Their Impact on Stellar Nucleosynthesis via the Rapid Neutron Capture Process
 ISOLTRAP collaboration

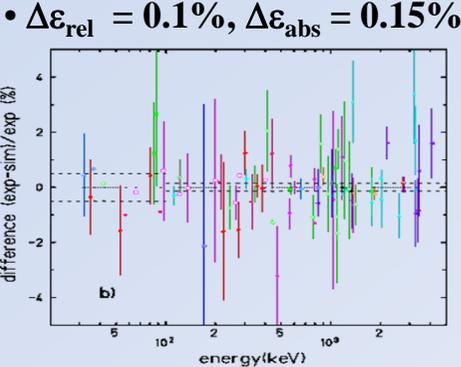
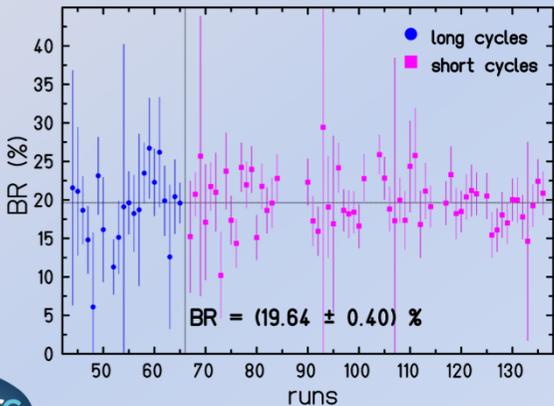
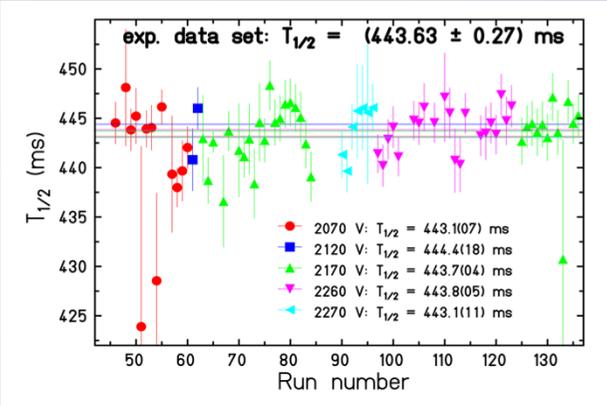
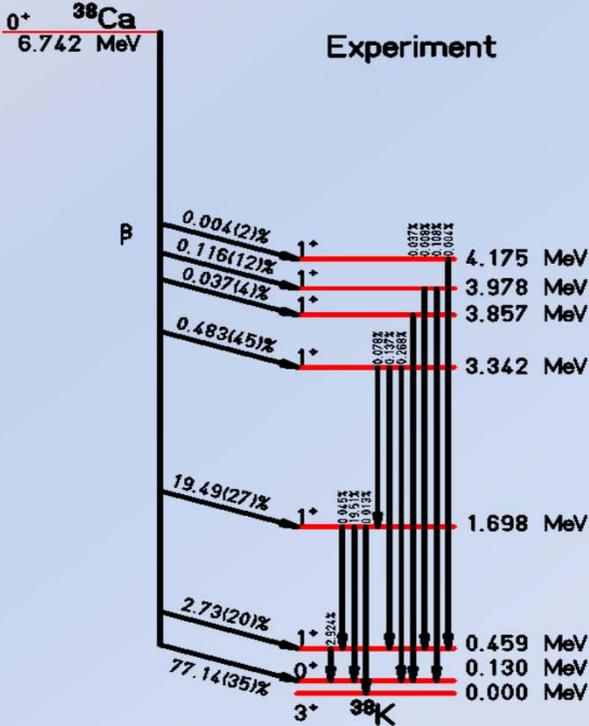
Les grandes questions pouvant être étudiées par la méthode ISOL

issues document stratégique ISOL France

4) Quelle est notre sensibilité à la physique au-delà du Modèle Standard ?

- Hypothèse CVC
- Terme V_{ud} de la matrice CKM

→ Mesures de précision des $T_{1/2}$, Q_{β} et BR des transitions super-permises $0^+ \rightarrow 0^+$



B. Blank et al., EPJA 51 (2015) 8

B. Blank et al., NIMA776 (2015) 34

5) Quel est l'impact de la physique nucléaire sur les autres disciplines

- Quel sont les noyaux pertinents pour le fonctionnement et la sûreté des réacteurs nucléaires ?
- Quel est l'impact des propriétés nucléaires sur la physique des réacteurs nucléaires ?
- Quels sont les noyaux pertinents pour la physique des neutrinos ?
- Quel est l'impact des propriétés nucléaires sur la physique des neutrinos ?

PRL **115**, 102503 (2015) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending
4 SEPTEMBER 2015

Total Absorption Spectroscopy Study of ^{92}Rb Decay: A Major Contributor to Reactor Antineutrino Spectrum Shape

A.-A. Zakari-Issoufou,¹ M. Fallot,¹ A. Porta,^{1,*} A. Algora,^{2,3} J. L. Tain,² E. Valencia,² S. Rice,⁴ V. M Bui,¹ S. Cormon,¹ M. Estienne,¹ J. Agramunt,² J. Äystö,⁵ M. Bowry,⁴ J. A. Briz,¹ R. Caballero-Folch,⁶ D. Cano-Ott,⁷ A. Cucoanes,¹ V.-V. Elomaa,⁸ T. Eronen,⁸ E. Estévez,² G. F. Farrelly,⁴ A. R. Garcia,⁷ W. Gelletly,^{2,4} M. B. Gomez-Hornillos,⁶ V. Gorlychev,⁶ J. Hakala,⁸ A. Jokinen,⁸ M. D. Jordan,² A. Kankainen,⁸ P. Karvonen,⁸ V. S. Kolhinen,⁸ F. G. Kondev,⁹ T. Martinez,⁷ E. Mendoza,⁷ F. Molina,^{2,†} I. Moore,⁸ A. B. Perez-Cerdán,² Zs. Podolyák,⁴ H. Penttilä,⁸ P. H. Regan,^{4,10} M. Reponen,^{8,‡} J. Rissanen,⁸ B. Rubio,² T. Shiba,¹ A. A. Sonzogni,¹¹ C. Weber,^{8,§} and IGISOL collaboration⁸

¹*SUBATECH, CNRS/IN2P3, Université de Nantes, Ecole des Mines de Nantes, F-44307 Nantes, France*
²*Instituto de Física Corpuscular (CSIC-Universitat de Valencia), Apartado Correos 22085, E-46071 Valencia, Spain*
³*Institute of Nuclear Research, MTA ATOMKI, Debrecen, 4026 Hungary*
⁴*Department of Physics, University of Surrey, Guildford GU27XH, United Kingdom*
⁵*Helsinki Institute of Physics, University of Helsinki, FI-00014 Helsinki, Finland*
⁶*Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), 08034 Barcelona, Spain*
⁷*Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales Y Tecnológicas, E-28040 Madrid, Spain*
⁸*Department of Physics, University of Jyväskylä, P.O. Box 35, FI-40014 Jyväskylä, Finland*
⁹*Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439, USA*
¹⁰*National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex TW11 0LW, United Kingdom*
¹¹*National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973-5000, USA*

Les grandes questions pouvant être étudiées par la méthode ISOL

issues document stratégique ISOL France

5) Quel est l'impact de la physique nucléaire sur les autres disciplines

- Décroissance beta : accès à la distribution de force Gamow-Teller / intensité beta

→ Chaleur résiduelle dans les réacteurs – lien avec les dimensionnements de sûreté

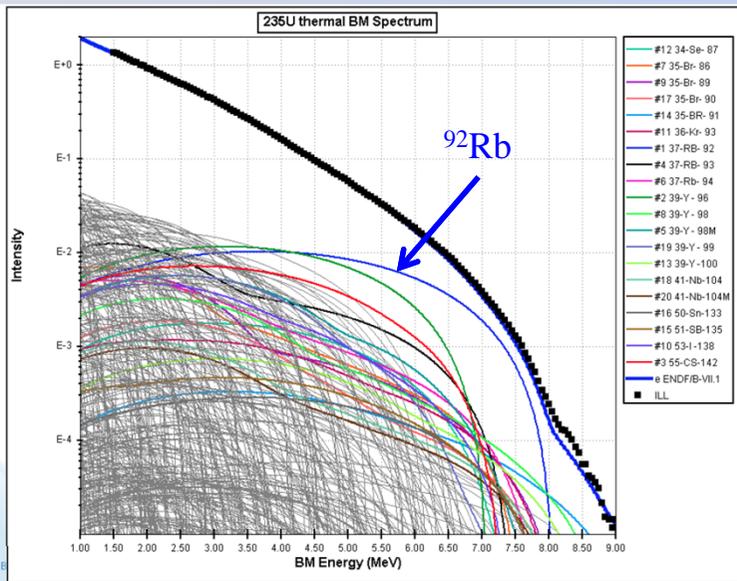
→ Input pour simuler les spectres en énergie des anti-neutrinos produits par les centrales

Mesures d'oscillation : possible explication pour les "anomalies réacteur" ?

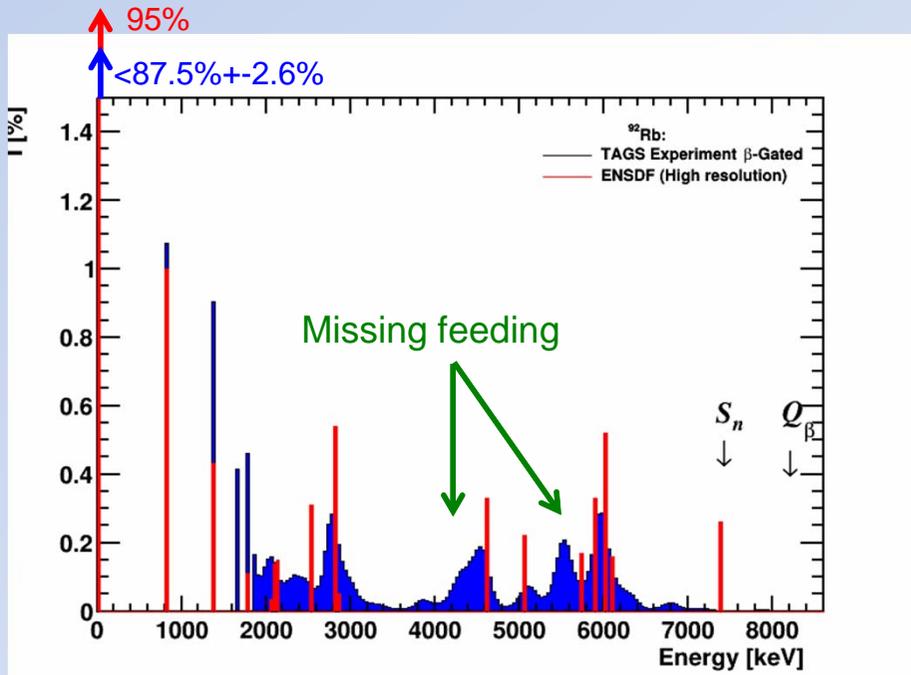
TABLE I. Main Contributors to a standard PWR antineutrino energy spectrum computed with MURE using the summation method [12].

	4 - 5 MeV	5 - 6 MeV	6 - 7 MeV	7 - 8 MeV
⁹² Rb	4.74%	11.49%	24.27%	37.98%
⁹⁶ Y	5.56%	10.75%	14.10%	-
¹⁴² Cs	3.35%	6.02%	7.93%	3.52%

~16% of the antineutrino energy spectrum emitted by PWRs in (5 to 8 MeV) !!!



TAGS measurement Jyväskylä / in2p3 proposal



week ending
4 SEPTEMBER 2015

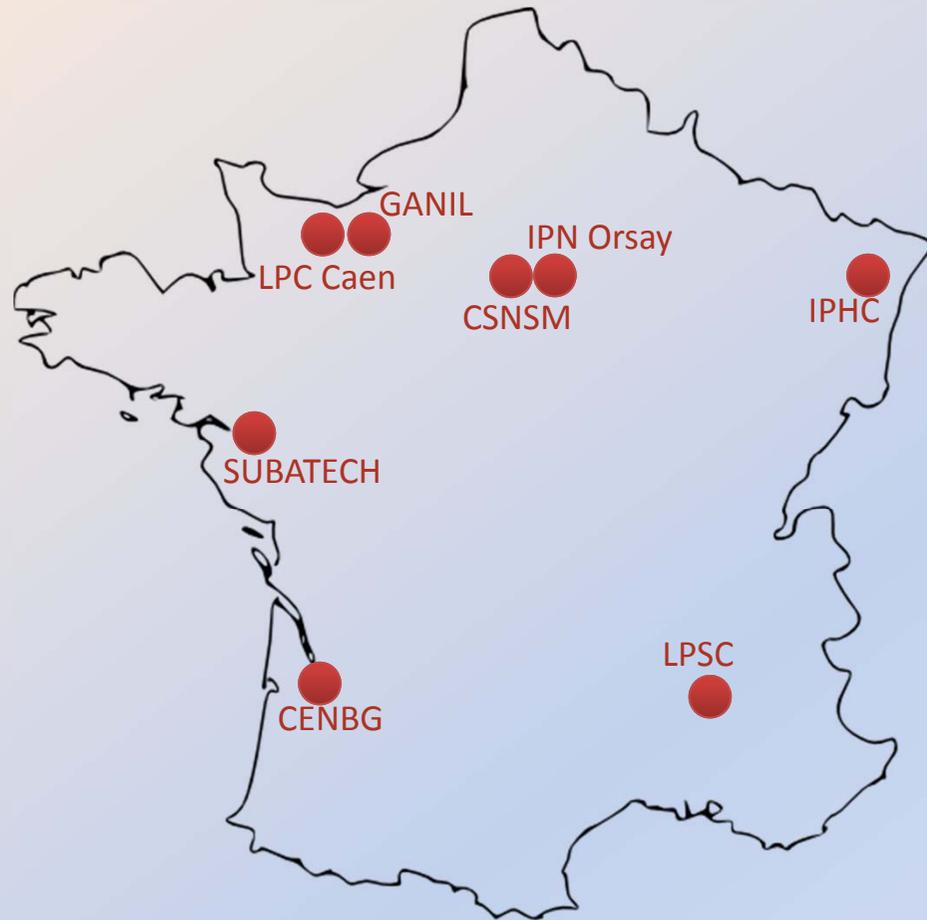
PHYSICAL REVIEW LETTERS

PRL 115, 102503 (2015)

Total Absorption Spectroscopy Study of ⁹²Rb Decay: A Major Contributor to Reactor Antineutrino Spectrum Shape

Panorama de la communauté ISOL française

☐ Equipes/effectifs/compétences/collaboration



Equipes et effectifs :

	Chercheurs Enseignants- Chercheurs (# personnes)	ITA Instrumentation "ISOL" (ETP)	Doctorants Post- Doctorants (# personnes)	ETP/an (hors ECS) (ETP)	ITA ECS "ISOL" (ETP)
CENBG	6	4	2	8	NA
CSNSM	10	0,25	7	8	NA
GANIL	10	3	4	13	6
IPHC	2	1	0	3	NA
IPN Orsay	9	1	6	11,5	2
LPC Caen	6	5	0	7,7	NA
LPSC	2	3	1	3,7	NA
SUBATECH	4	1	2	5,2	NA
TOTAL	46	11	22	~50	

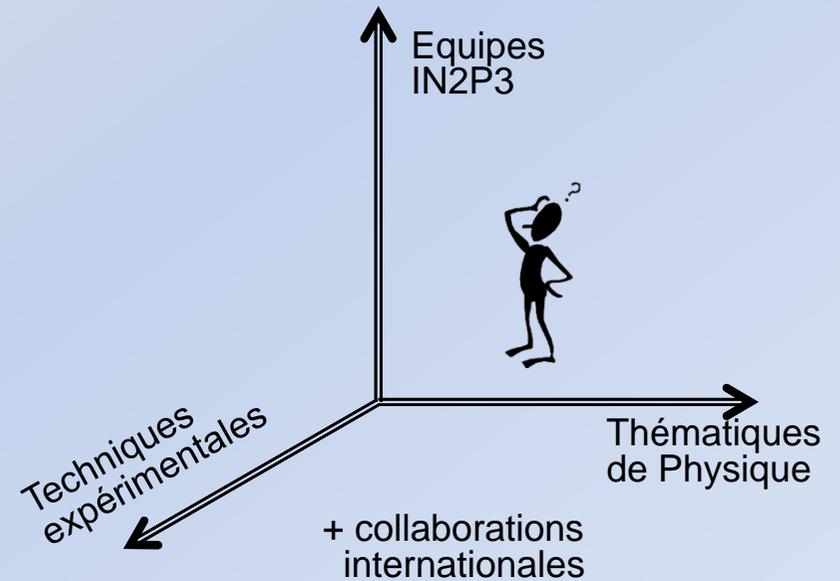
- Une thématique forte en physique nucléaire
- en nombre de laboratoire
 - en nombre de (enseignants-)chercheurs
 - en nombre d'ITA

Panorama de la communauté ISOL française

☐ Equipes/effectifs/compétences/collaboration

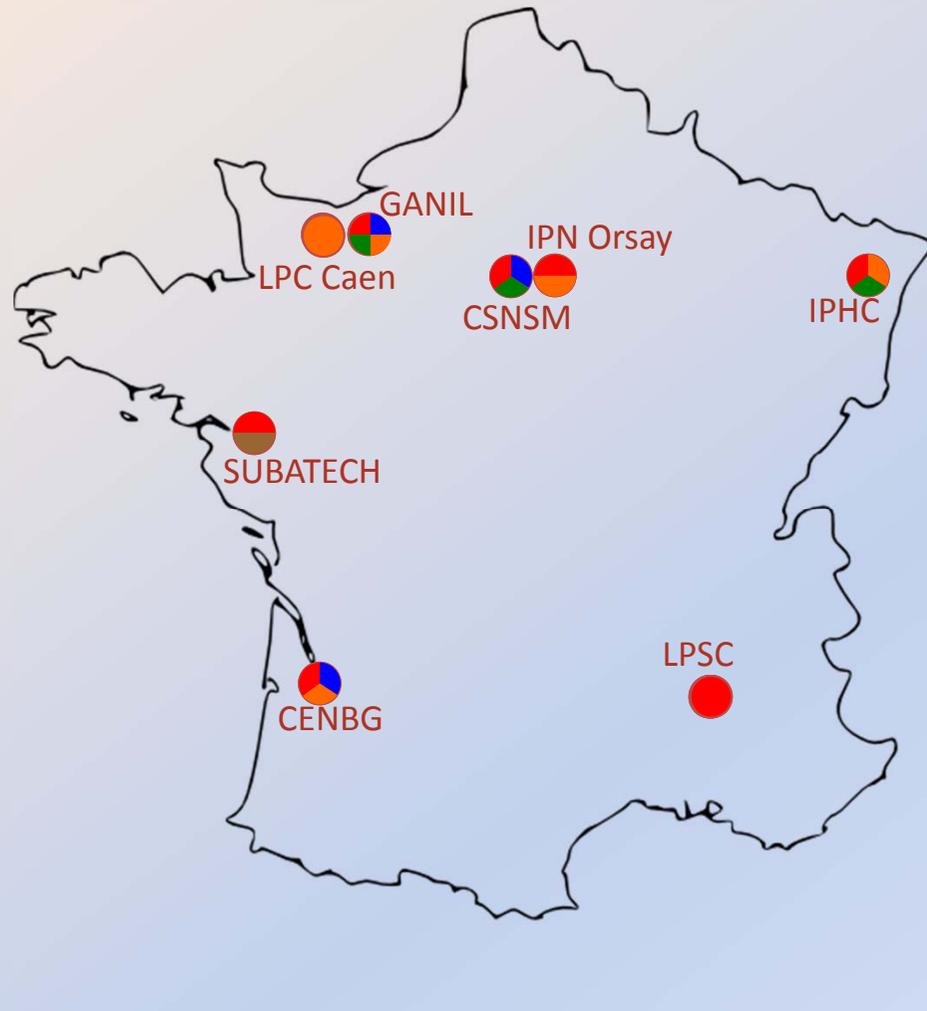


Equipes: compétences et collaborations



Panorama de la communauté ISOL française

☐ Equipes/effectifs/compétences/collaboration



Thématiques de Physique ↔ Equipes IN2P3

Equipes: compétences et collaborations

Noyaux riches en neutrons et astrophysique nucléaire

CENBG, CSNSM, GANIL, IPHC, IPNO, LPSC, SUBATECH

Noyaux N=Z

CENBG, CSNSM, GANIL

Noyaux Lourds et Superlourds

CSNSM, GANIL, IPHC

Interactions fondamentales

CENBG, GANIL, IPHC, IPNO, LPC Caen

Interfaces autres disciplines

SUBATECH

+ collaborations internationales

ISOLDE → ISOLTRAP, COLLAPS, CRIS, NICOLE

TRIUMF → PICS

+ expériences proposées par équipes "IN2P3"
(ISOLDE, TRIUMF, JYLF)

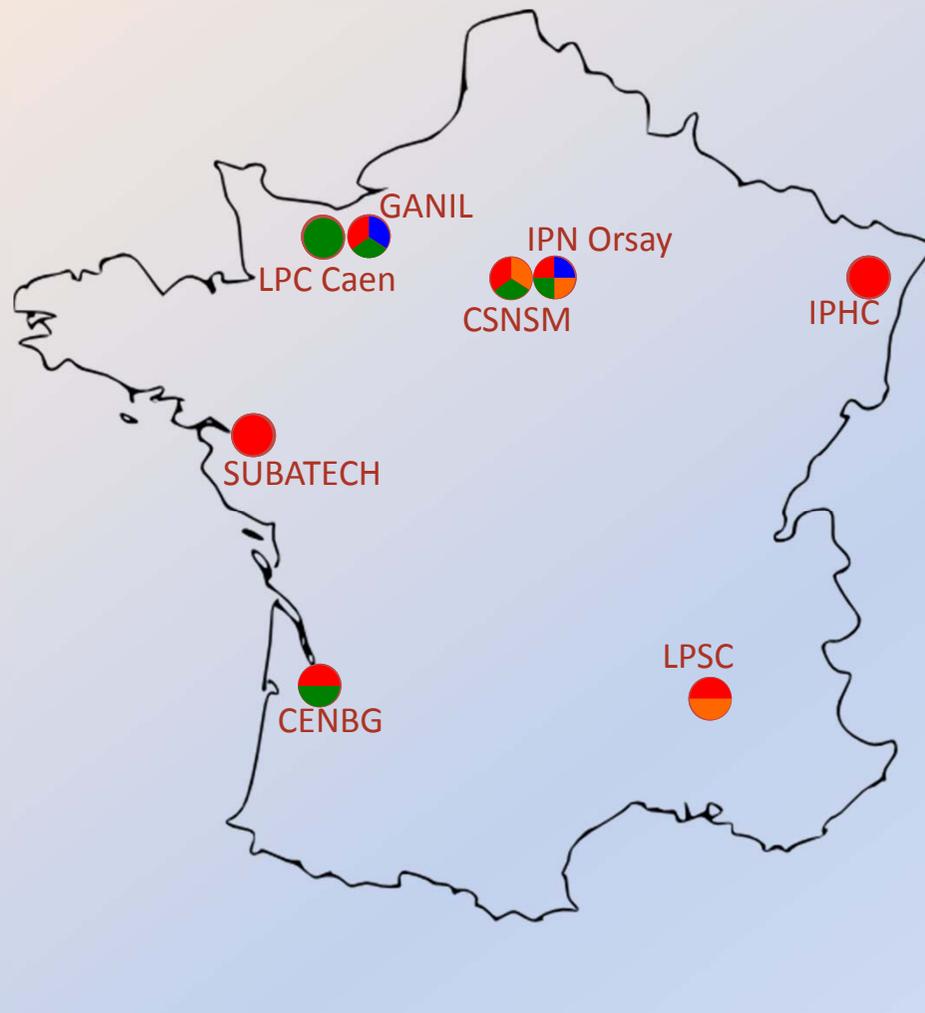
→ Programmes de physiques des équipes IN2P3

- bien identifiés

- développés dans le cadre de collaborations

Panorama de la communauté ISOL française

☐ Equipes/effectifs/compétences/collaboration



Techniques expérimentales ↔ Equipes IN2P3

Equipes: compétences et collaborations

Décroissance beta

CENBG, CSNSM, GANIL, IPHC, IPNO, LPSC, SUBATECH

Spectroscopie laser

GANIL, IPNO

Pièges

CENBG, CSNSM, GANIL, IPNO, LPC Caen

Polarisation

CSNSM, IPNO, LPSC

→ Techniques expérimentales

- bien développées dans les équipes IN2P3
- dans le cadre de collaborations

Interaction and density functionals

NUCLEAR
STRUCTURE :
ACTIVITIES
AND
EXPERTISE IN
THEORY

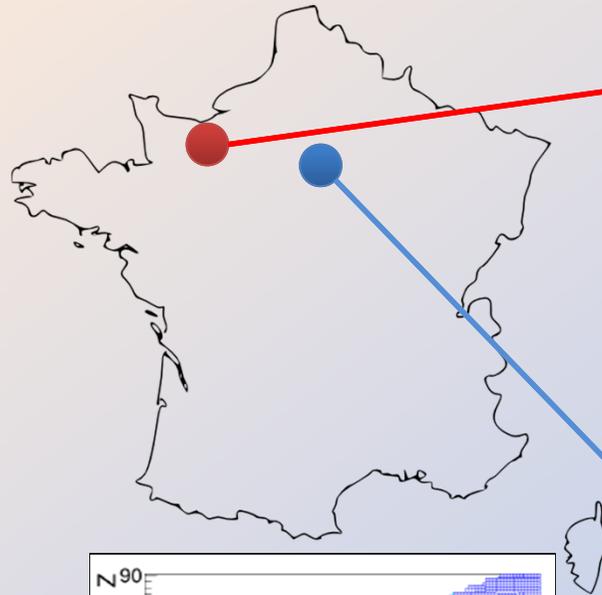
Many-body models for ground state studies, spectroscopy and excitation spectra

- EFT: Power counting related to chiral interactions (IPNO)
- EDF: New interactions and functionals tailored for beyond-mean-field models (IPN, IPNO)
- EDF: developments on the Gogny interaction (CEA B3)
- Bridging EFT and EDF (functionals tailored for low-density equation of state, IPN Orsay, adjusting Gogny on ab-initio, CEA B3)
- Towards a strategy for a power counting in EDF (IPNO)

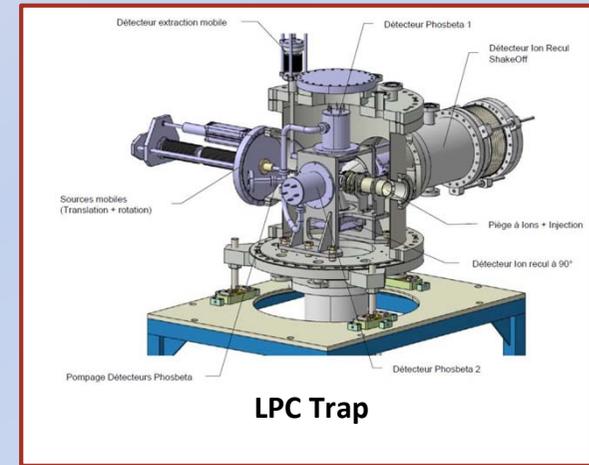
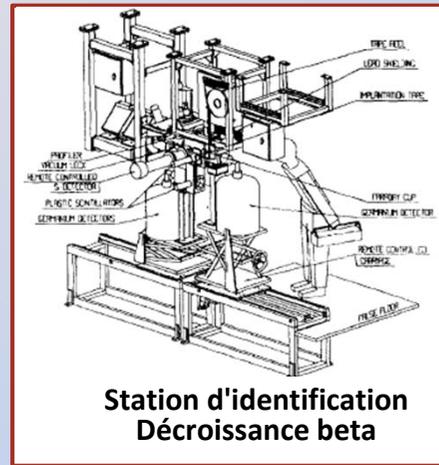
- Shell model (CENBG, IPHC, GANIL)
- EDF: Mean-field-based models, relativistic and non relativistic (CEA B3, IPNL, IPNO)
- EDF: Beyond mean-field models, GCM, projections, many-body perturbation theory, 5DCH, second RPA, mp-mh configuration interaction, ... (CENBG, CEA B3, IPNL, IPNO, CEA SPhN)
- Ab-initio models: no-core shell model, self-consistent Gorkov-Green's function approach (CEA SPhN, IPNO)

Panorama de la communauté ISOL française

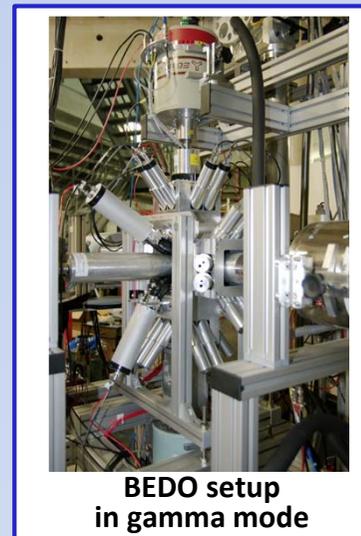
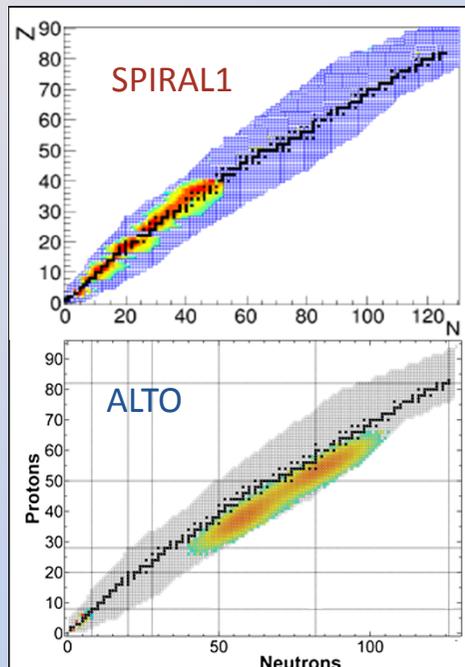
❑ Plateformes expérimentales : contexte national et international



SPIRAL1/Upgrade - fragmentation



ALTO - Photofission de l'Uranium



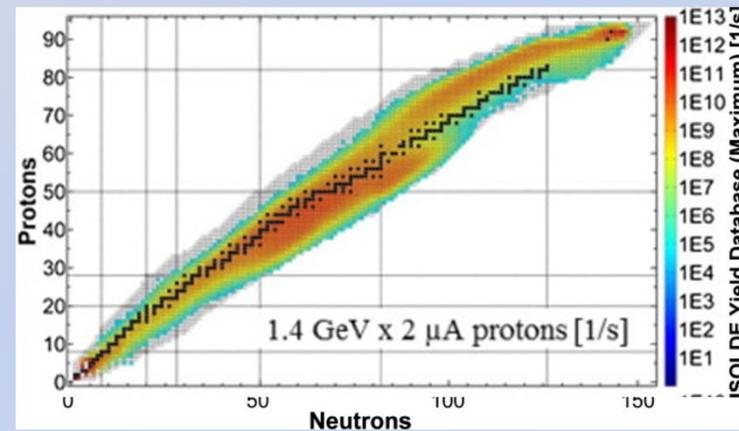
Panorama de la communauté ISOL française

❑ Plateformes expérimentales : contexte national et international



JYFL – IGISOL : faisceaux (p,d,) sur cibles minces
→ (p,xn), fission
faisceaux IL → fusion évaporation

ISOLDE : spallation et fission – faisceau protons 1,4 GeV



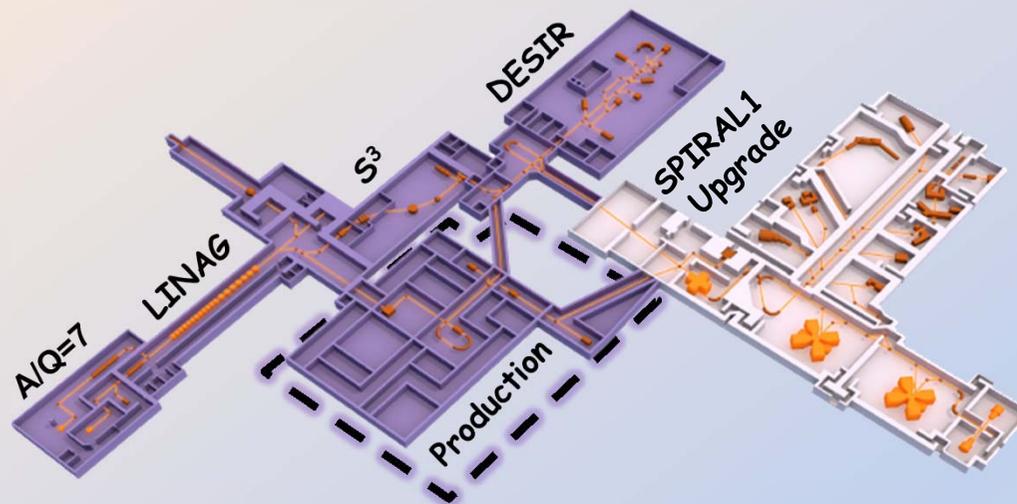
TRIUMF : spallation et fission
faisceau protons 500 MeV
A venir : ARIEL / Photofission



Panorama de la communauté ISOL française

□ Un avenir ambitieux

- Stratégie à long terme « Scénario 1 » : installation mono-site / multi-faisceaux



GANIL

SPIRAL1 Upgrade

Noyaux légers ($A < 80$)

SPIRAL2 Phase 1

Noyaux déficients en neutron, lourds et superlourds

DESIR

Plateforme expérimentale ISOL basse énergie

SPIRAL2 Phase 2

Noyaux intenses riches en neutron ($3 \cdot 10^{13}$ FF/s)

Perspectives : Post Accélération
EURISOL

- Stratégie à moyen terme « Scénario 3 » : sites complémentaires



GANIL

SPIRAL1 Upgrade

Noyaux légers ($A < 80$)

SPIRAL2 Phase 1

Noyaux déficients en neutron, lourds et superlourds

DESIR

Plateforme expérimentale ISOL basse énergie

IPNO

ALTO → PALTO

Noyaux intenses riches en neutron ($1 \cdot 10^{11}$ FF/s)

Panorama de la communauté ISOL française

☐ Développements expérimentaux

Production	→ ALTO → Upgrade SPIRAL1	IPNO GANIL	TGIR
Sélections	→ Sources laser → HRS → PIPERADE	GANIL, IPNO GANIL, CENBG CENBG, CSNSM, GANIL, LPC Caen + Int.	ANR CPER ANR, Région + Int.
Décroissance	→ BEDO → Fast Tape station	IPNO + Int. GANIL, IPHC	Int. ANR
Spectroscopie laser	→ LINO → REGLIS&asso.	IPNO GANIL, IPNO, LPC Caen + Int.	LabeX ANR, ERC + Int.
Pièges	→ LPCTrap/Mora → MLL Trap → PILGRIM → WISARD	LPC Caen, GANIL CENBG, CSNSM, IPNO+ Int. GANIL, LPC Caen CENBG + Int.	Région + Int. LabeX, région Int. Int.
Polarisation	→ PolareX	CSNSM	LabeX

- Beaucoup de développements au service de la physique
- En collaboration multiples
- Avec un fort soutien des "agences de moyens"

- Un cadre scientifique clair et excitant !!
- Equipes françaises :
 - production scientifique haut niveau
 - beaucoup de développements techniques
 - travail collaboratif
- Une stratégie à moyen terme claire - structuration en cours
- Stratégie long terme ambitieuse à affirmer

Merci pour votre attention