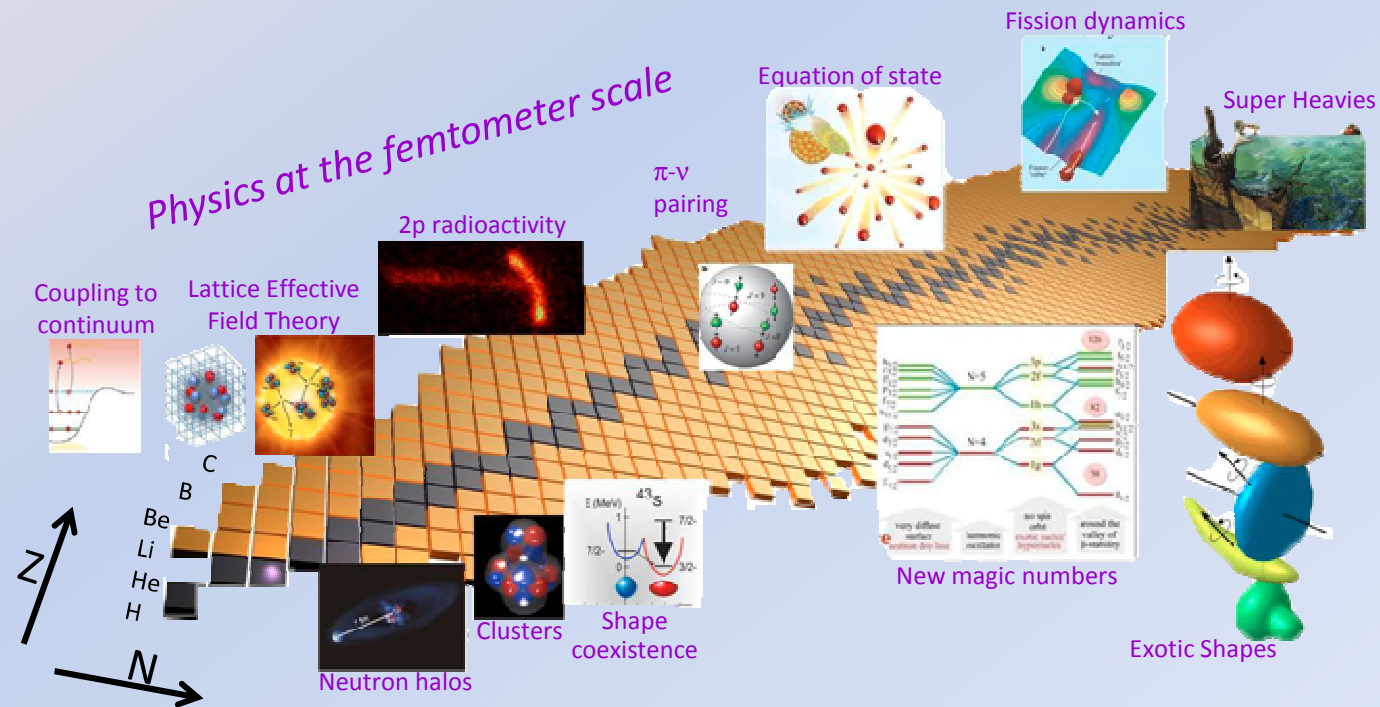


La physique auprès du GANIL et Spiral1

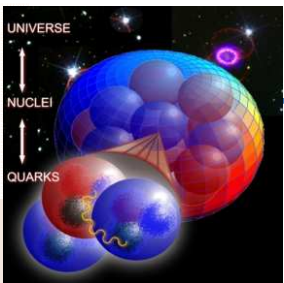
morceaux choisis 2008-2012

Conseil Scientifique de l'IN2P3 - 31 janvier 2013

Stéphane Grévy - CENBG



Tendances actuelles en physique théorique

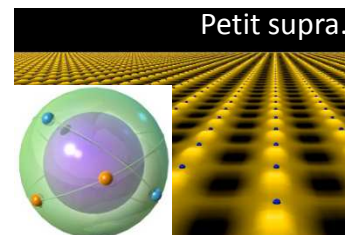


- systèmes finis/infinis:
- transitions de phase
- Fermions à basses densités.
- renormalisation

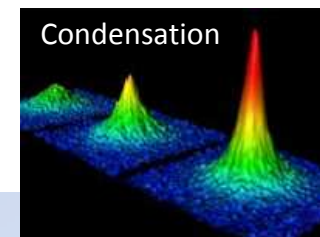
Interdisciplinarité

Théorie Fonctionnelles

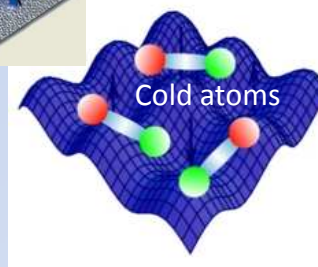
Modèle en couche



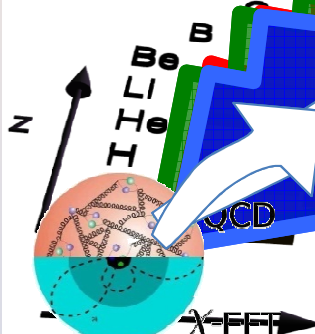
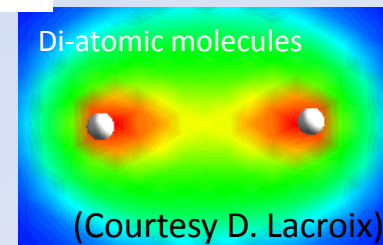
- Appariement et superfluidité
- Symétrie et brisure de symétrie
- Bosonisation/clusterization
- Phénomène de condensation



- Pseudo-potentiels
- Fonctionnelles en densité
- Théorie des champs effectif

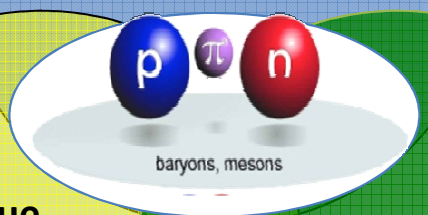


- Continuum
- Effet de seuil
- Methodes ab-initio



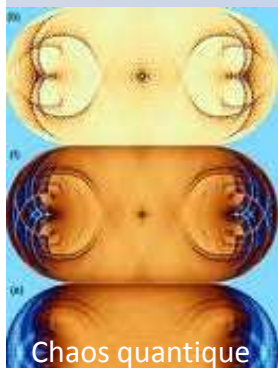
- Problème à N-corps dynamique
- transition ordre-désordre

Structure Des systèmes quantiques



Dynamique Des systèmes mésoscopiques

Thermodynamique Du microscopique Au macroscopique

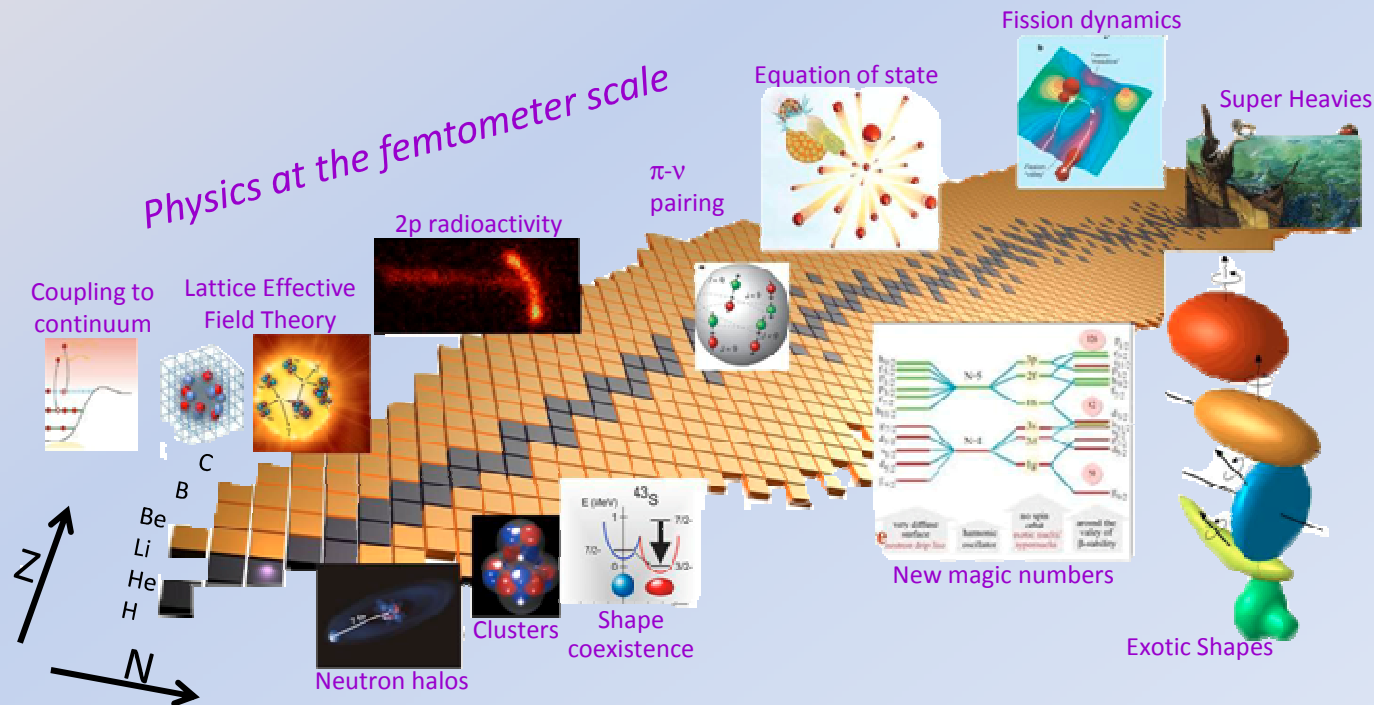


Chaos quantique

Les grandes questions adressées au GANIL par la communauté de Physique Nucléaire

THEMATIQUES

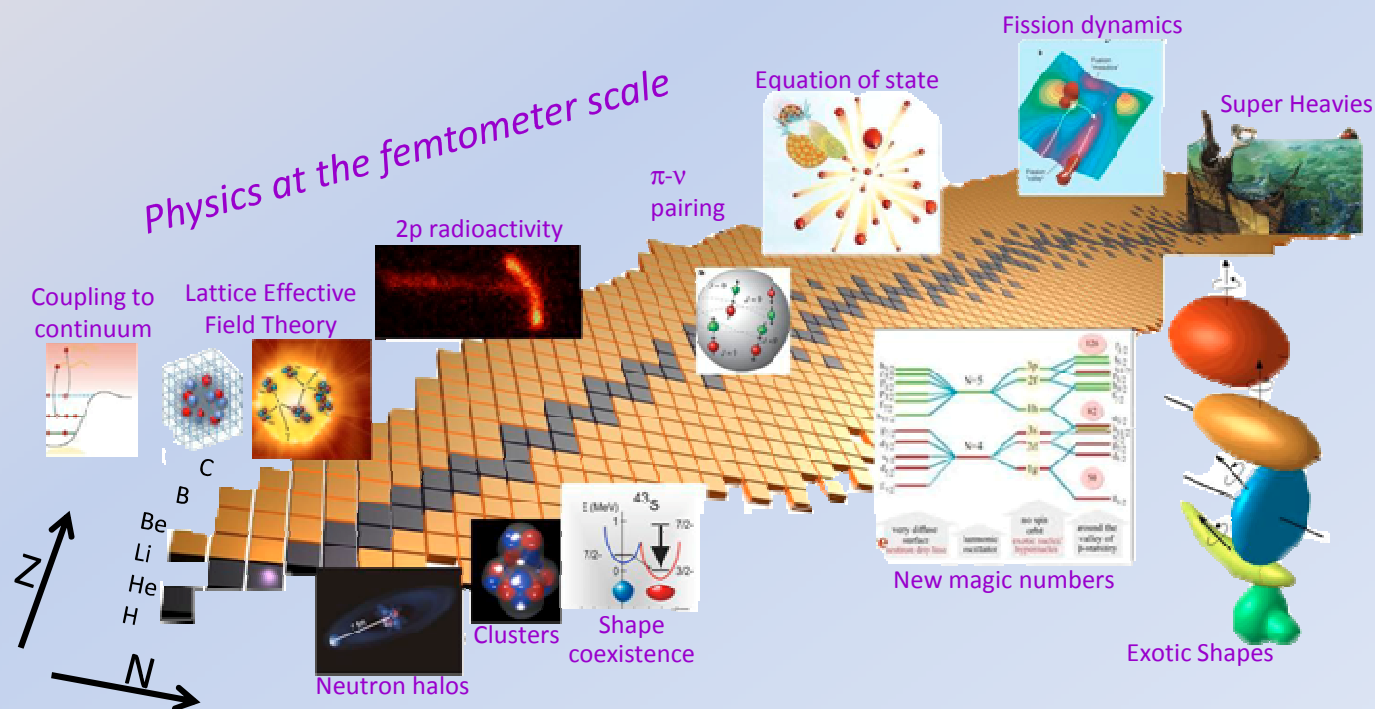
- **Interactions fondamentales** ➤ Quelles sont les limites du Model Standard ?
- **Astrophysique nucléaire** ➤ Comment sont synthétisés les éléments chimique dans l'Univers ?
Quels sont les mécanismes d'explosion des étoiles en SuperNovae ?
- **Structure**
- **Noyaux Super Lourds** ➤ Comment évoluent les effets de couches (nombres magiques, formes) ?
Quelles sont les limites d'existence en isospin et masse
- **Mécanismes de réaction** ➤ Quelle est l'équation d'état de la matière nucléaire
Comment parvenir à une description microscopique des processus de fusion, fission et collisions nucléaires rapprochées ?



Les grandes questions adressées au GANIL par la communauté de Physique Nucléaire

THEMATIQUES

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Noyaux Super Lourds
- Mécanismes de réaction



Les grandes questions adressées au GANIL par la communauté de Physique Nucléaire

THEMATIQUES

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Noyaux Super Lourds
- Mécanismes de réaction

FAISCEAUX

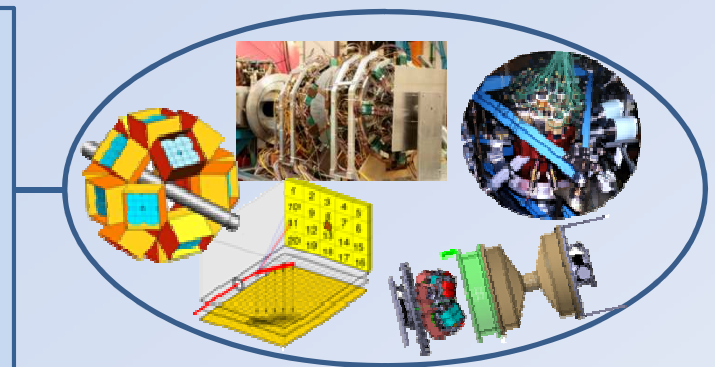
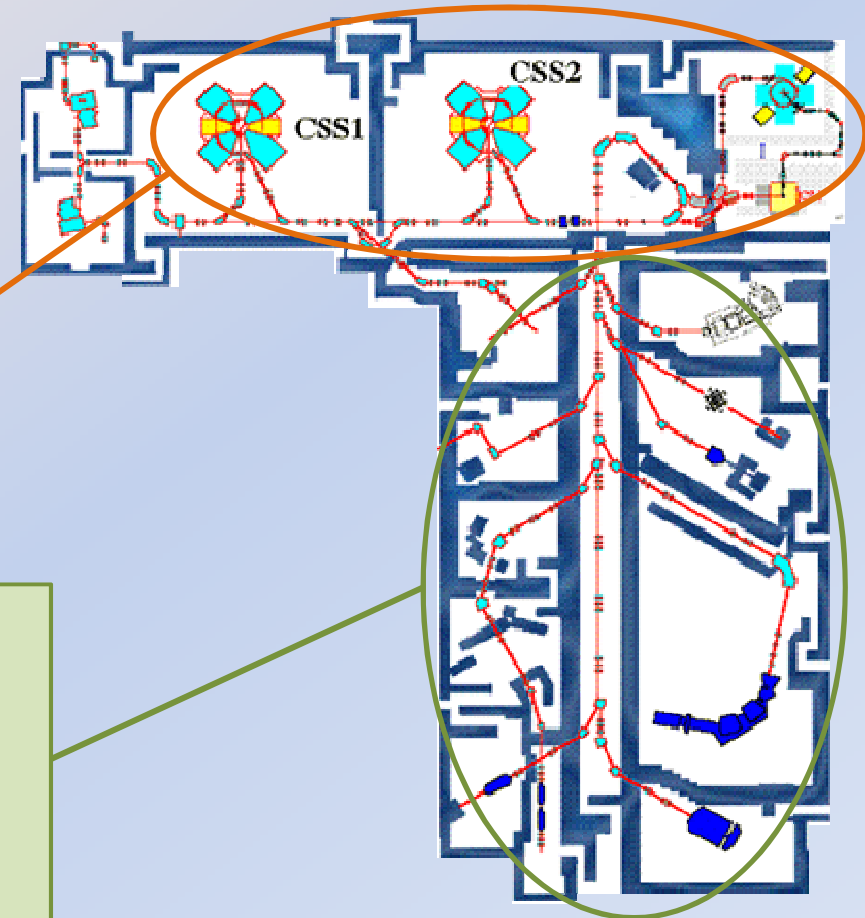
- Stable CSS
 - ISOL Spiral1/CIME
 - Fragmentation LISE/SISSI
- +
- SPIRAL2

SPECTROMETRES

- LISE
 - SPEG
 - VAMOS
 - LIRAT
 - FULIS
- +
- HRS
S3
DESIR

SYST. DETECTION

- Exogam
 - Château de cristal
 - Must2/TiaRa
 - Maya/TPC
 - LPC Trap
 - INDRA
- +
- Exogam2/AGATA
PARIS
GASPARD
ACTAR
PIPERADE
FAZIA



- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

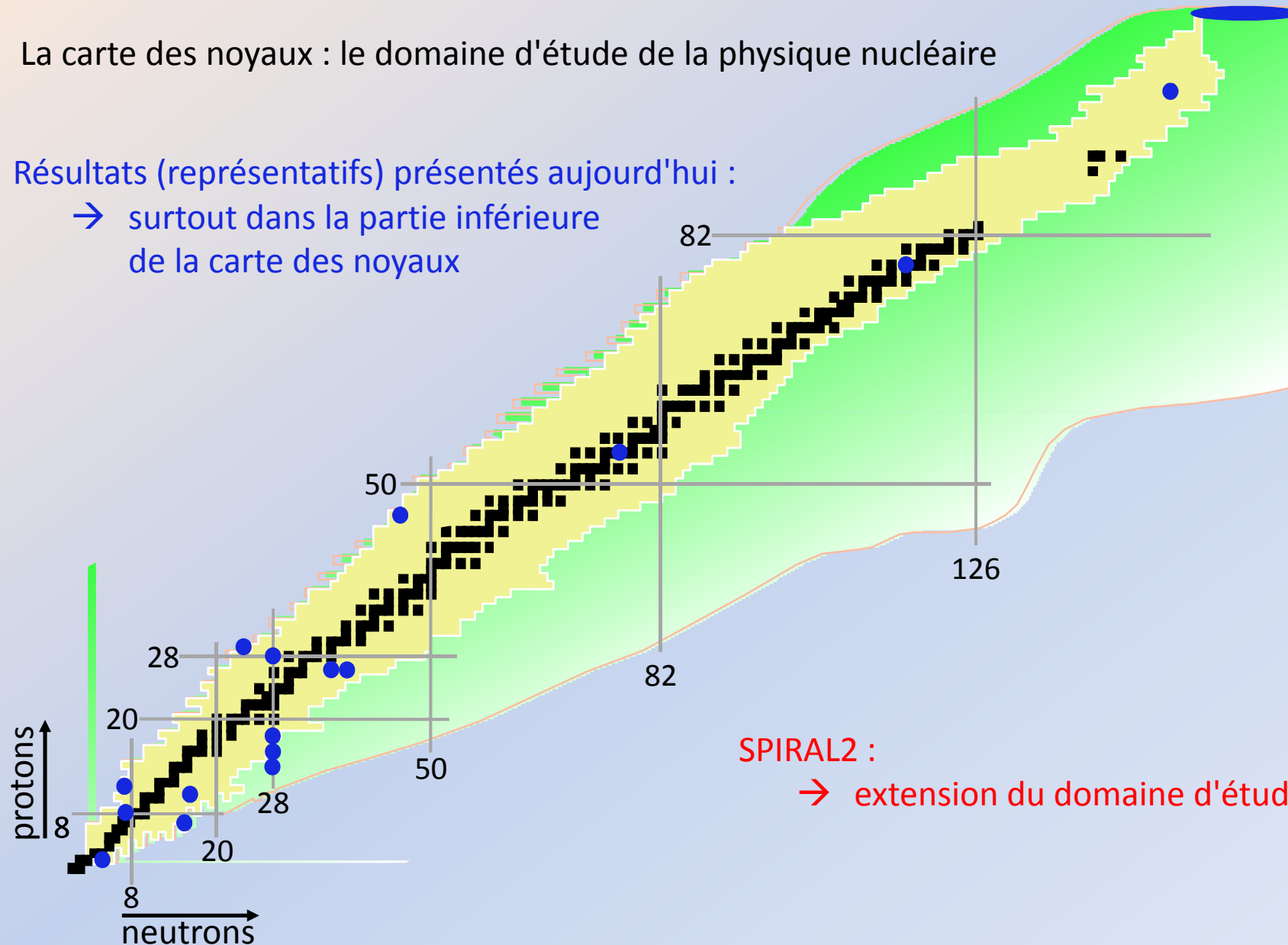
- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

La carte des noyaux : le domaine d'étude de la physique nucléaire

Résultats (représentatifs) présentés aujourd'hui :

→ surtout dans la partie inférieure de la carte des noyaux



- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

La décroissance nucléaire β pour tester le secteur électrofaible du Standard Model

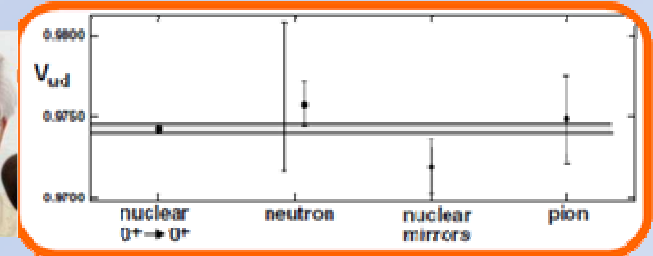
Motivations:

- Courants exotiques dans l'interaction faible (test de la théorie V-A)

Etude des corrélations angulaires dans les coïncidences β -ions

- Test de la matrice CKM

Décroissance des noyaux miroirs $\rightarrow V_{ud}$
(alternative aux transitions de Fermi $0^+ \rightarrow 0^+$)



Décroissance β = processus semi leptonique gouverné par l'interaction faible

Taux de décroissance: $W(E, \theta) = W(E) [1 + \frac{v_e}{c} \cos(\theta)]$

$$a(C_V, C_A, C_S, C_T) = \frac{[|C_V|^2 + |C'_V|^2 - |C_S|^2 - |C'_S|^2] |M_F|^2 + \frac{1}{3} [|C_T|^2 + |C'_T|^2 - |C_A|^2 - |C'_A|^2] |M_{GT}|^2}{[|C_V|^2 + |C'_V|^2 + |C_S|^2 + |C'_S|^2] |M_F|^2 + [|C_T|^2 + |C'_T|^2 + |C_A|^2 + |C'_A|^2] |M_{GT}|^2} = \frac{|C_V|^2 |M_F|^2 + \frac{1}{3} |C_A|^2 |M_{GT}|^2}{|C_V|^2 |M_F|^2 + |C_A|^2 |M_{GT}|^2} = a_{SM}(C_V, C_A)$$

➔ pure F $a_F = \frac{[|C_V|^2 + |C'_V|^2 - |C_S|^2 - |C'_S|^2] |M_F|^2}{[|C_V|^2 + |C'_V|^2 + |C_S|^2 + |C'_S|^2] |M_F|^2} = 1 \text{ (SM)}$

➔ pure GT $a_{GT} = \frac{\frac{1}{3} [|C_T|^2 + |C'_T|^2 - |C_A|^2 - |C'_A|^2] |M_{GT}|^2}{[|C_T|^2 + |C'_T|^2 + |C_A|^2 + |C'_A|^2] |M_{GT}|^2} = 1/3 \text{ (SM)}$

○ Interactions fondamentales

- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

○ Stable CSS

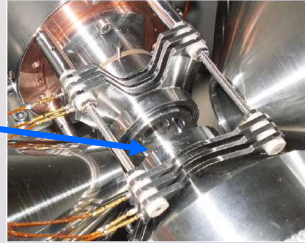
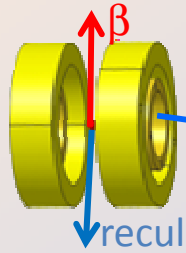
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

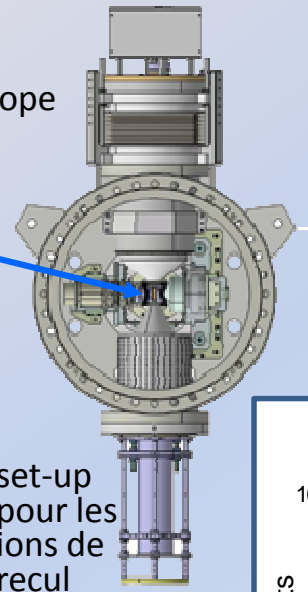
- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Flécharde *et al.*, J. of Phys. G38(2011)055101
 Couratin *et al.*, Phys. Rev. Lett. 108(2012)243201

Mesure de a & $P_{shakeoff}$ dans ${}^6\text{He}$

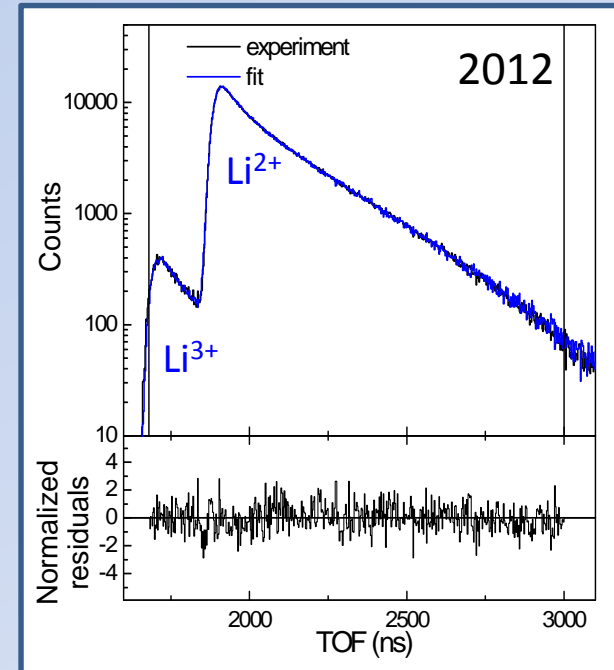
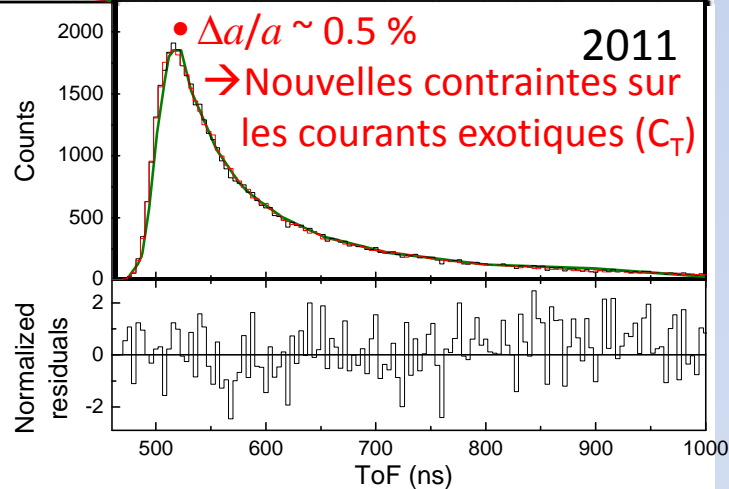
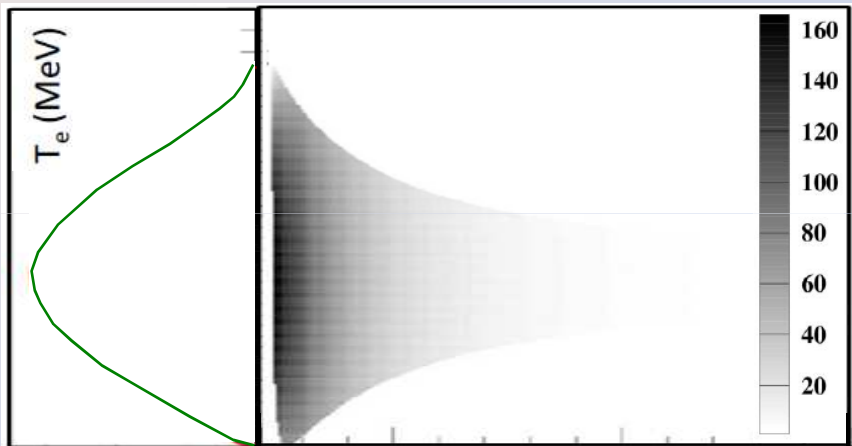
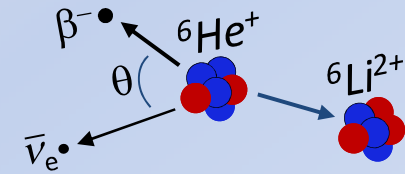


télescope



set-up pour les ions de recul

Perspectives :
 upgrade S1, S2 & DESIR



• Cas idéal case pour tester l'approximation soudaine :

$$P_{shake-off} = 0.02339(36)$$

$$P_{theory} = 0.02322$$

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Mountford *et al.*, Phys. Rev. C85(2012)022801

Assie *et al.*, Phys. Lett. B721(2012)198

Elastic resonant diffusion with ^{17}Ne and ^{18}F beams

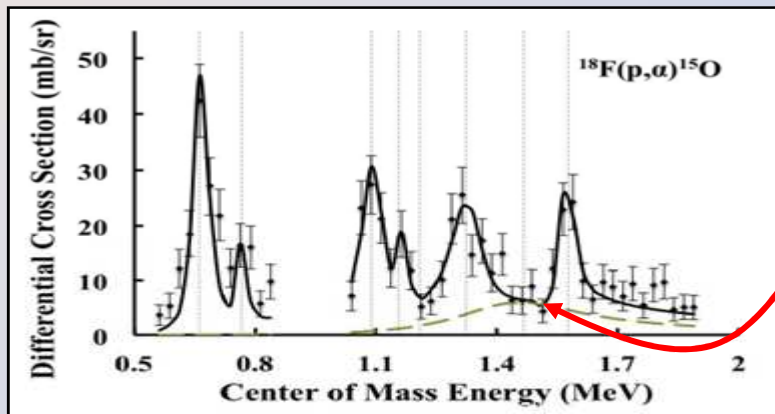
Perspectives :
upgrade S1, S2

Motivations:

➤ Certaines sections efficaces sont particulièrement importantes pour les processus stellaires

Utilisation de la diffusion élastique résonante → exploration d'un large domaine en énergie d'excitation

- cycle CNO : destruction d'un émetteur γ cosmique

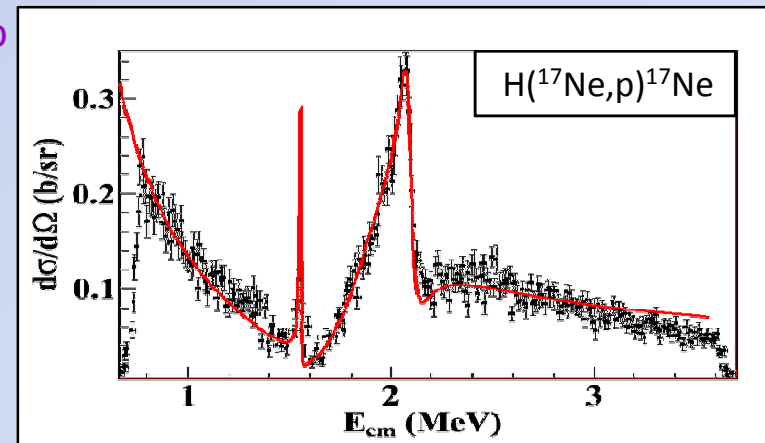
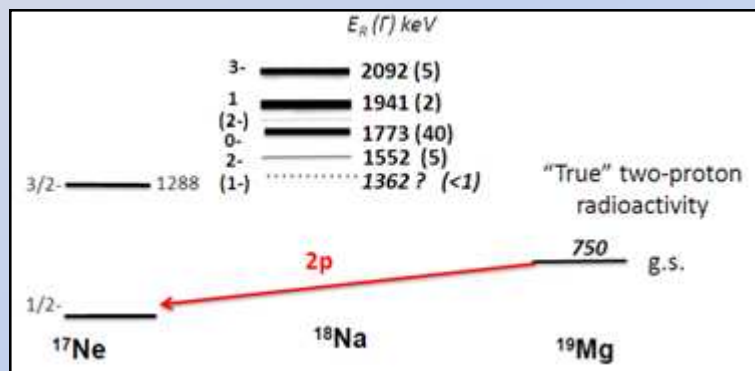


Nouvelle résonance très large

→ impact important sur les novae

(moins de ^{18}F → moins de rayonnement γ)

- nucléosynthèse (processus r) : Etude de la capture $2p$



→ nouvel état observé dans ^{18}Na : la décroissance $2p$ se fait via la traîne de la résonance

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Mesures de masses

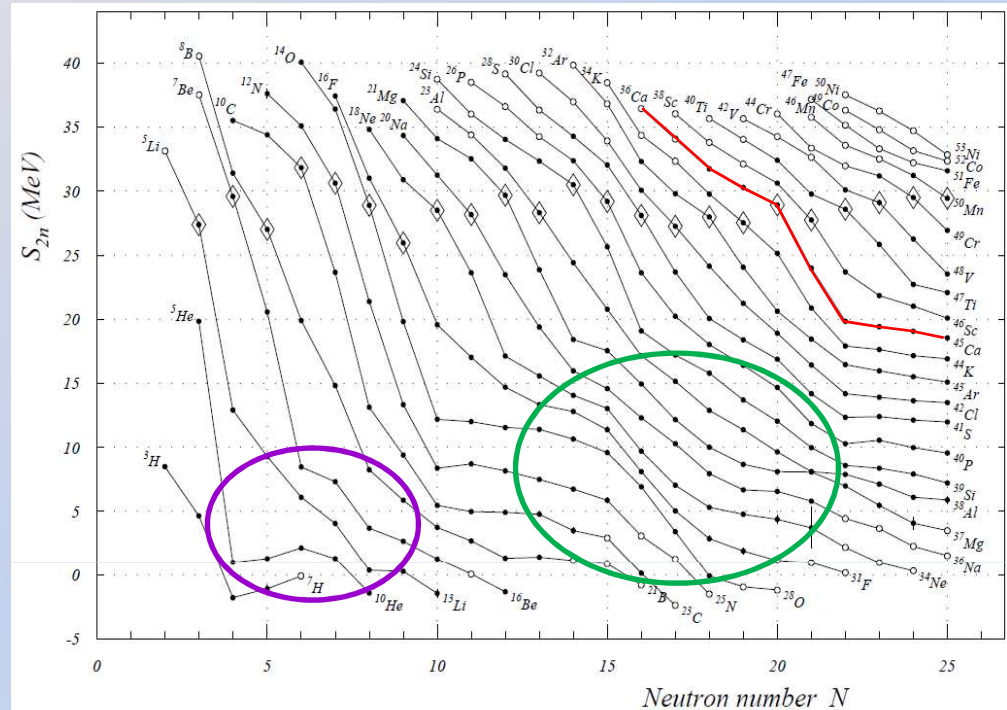
Masse :

- Une des première information expérimentale
- Quantité fondamentale → modèle en couche
- Mise en évidence de changements de structure :

- nécessité force à 3 corps
- couplage au continuum près des driplines
- modification fermetures de couches
- halos
- ...



SPEG



$$B\rho = \frac{M}{Q} \frac{L}{T}$$

T : Temps de vol → Déterminé à 10^{-5} près.

L : Distance de vol (82m).

Bρ : Rigidité magnétique.

Q : Etat de charge.

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

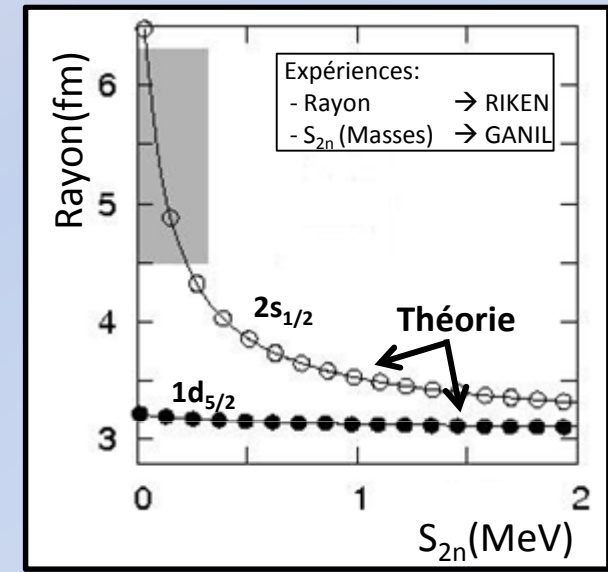
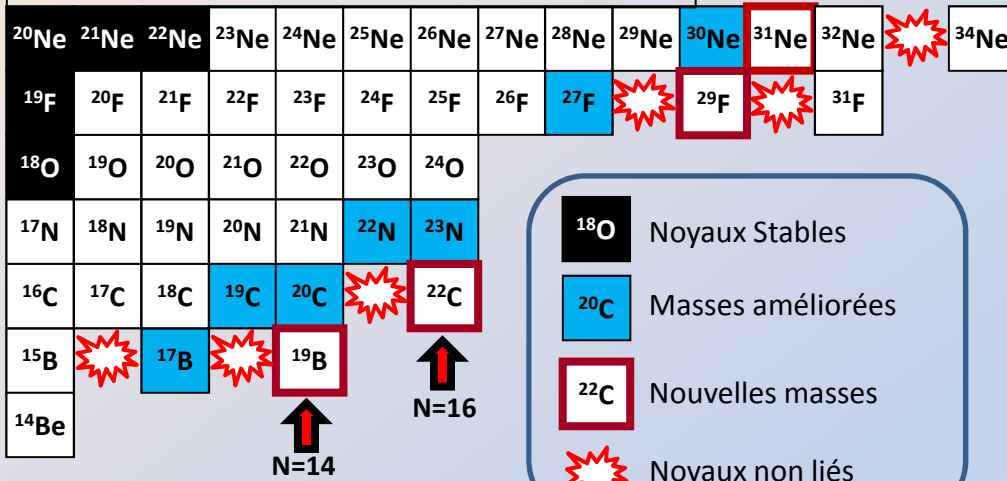
- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Gaodefroy *et al.*, Phys. Rev. Lett 109(2012)202503

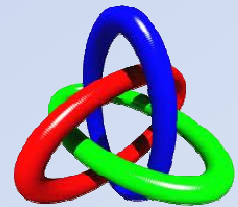
Perspectives :
Spiral2, S3 / Traps @ DESIR

- 16 Noyaux étudiés.
- Premières mesures pour ^{19}B , ^{22}C , ^{29}F et ^{31}Ne .



Zoom sur le ^{22}C :

- $S_{2n} + \text{Rayon} \rightarrow$ noyau à halo le plus lourd
- noyau dit "borroméen" : n-n et ^{21}C non liés
→ laboratoire pour étude de la force à 3 corps
- Description par des méthodes microscopiques demandera des améliorations :
 - couplage au continuum
 - comportement asymptotique réaliste des fonctions d'ondes



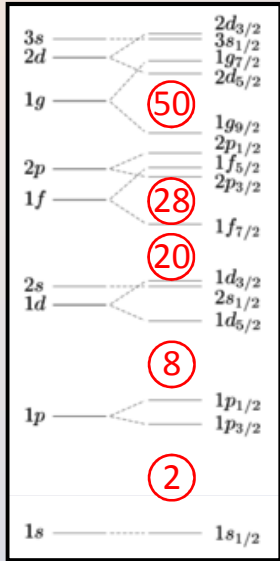
- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

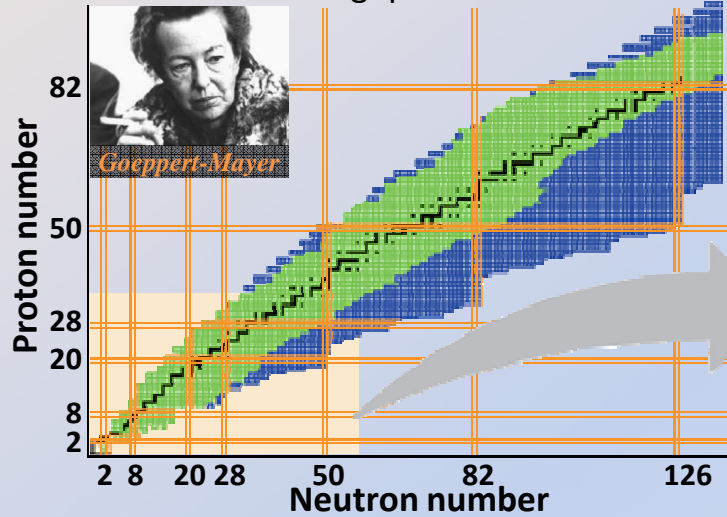
- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

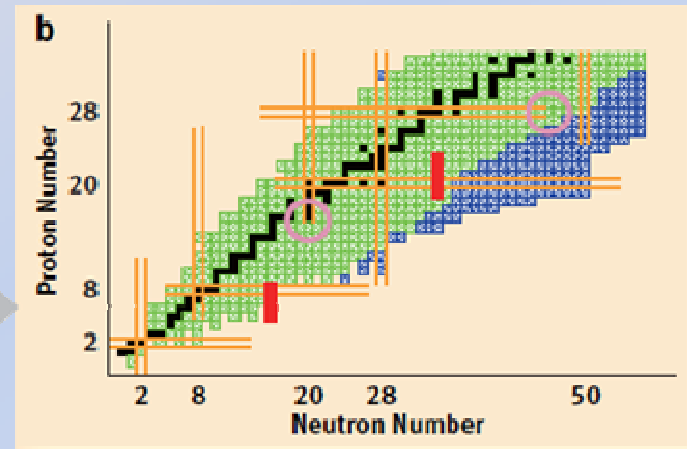
Structure en couche



1949 :
les Nombres Magiques sont "universels"

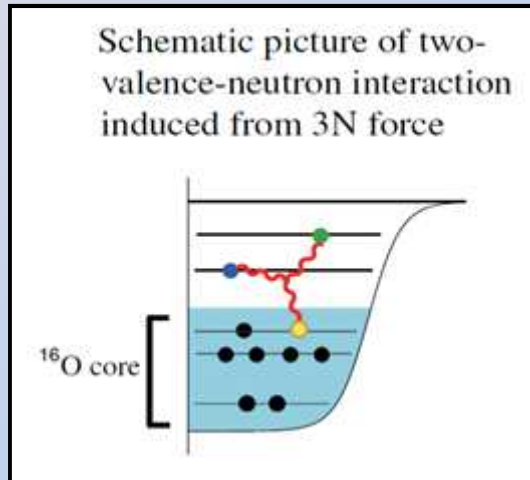


2013 :
les Nombres Magiques sont "un laboratoire"

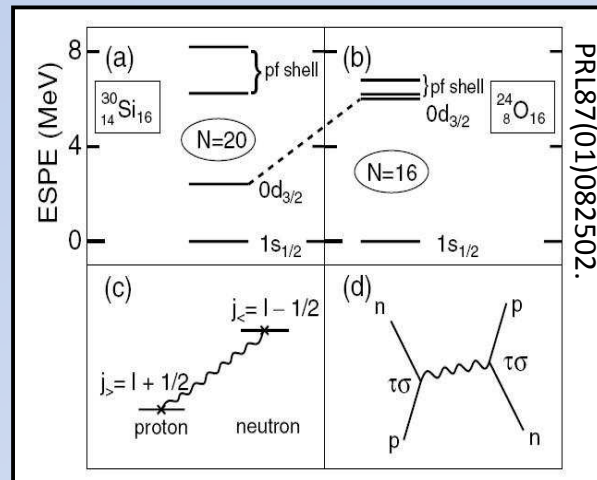


Structure en couche & nombres magiques → un outil pour sonder l'interaction nucléon-nucléon

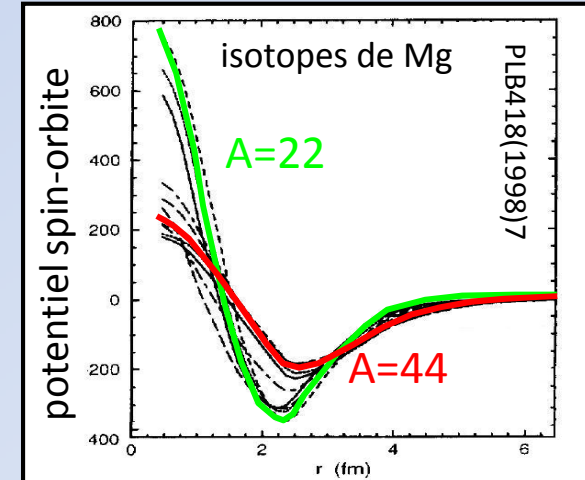
interaction à 3 corps



interaction proton-neutron



interaction spin-orbite



- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

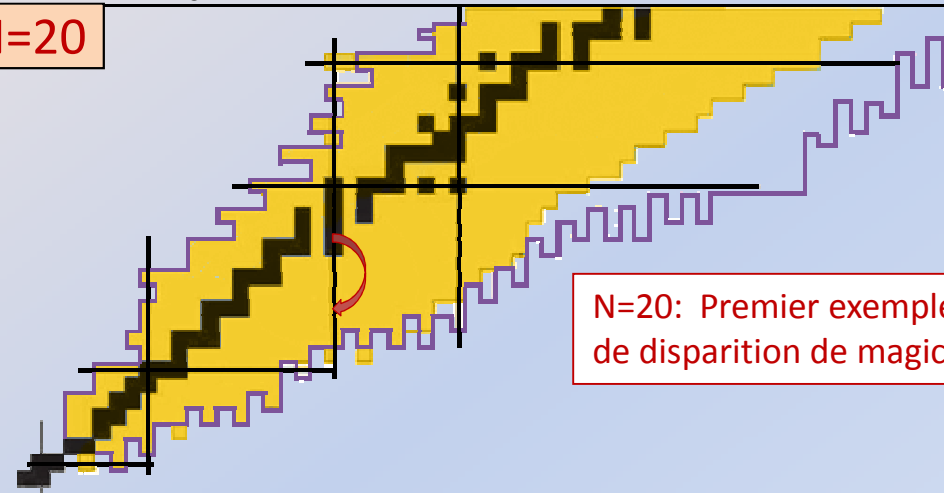
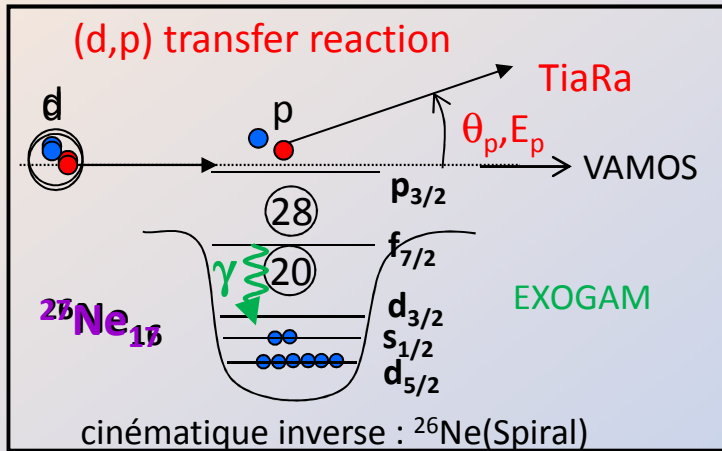
- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

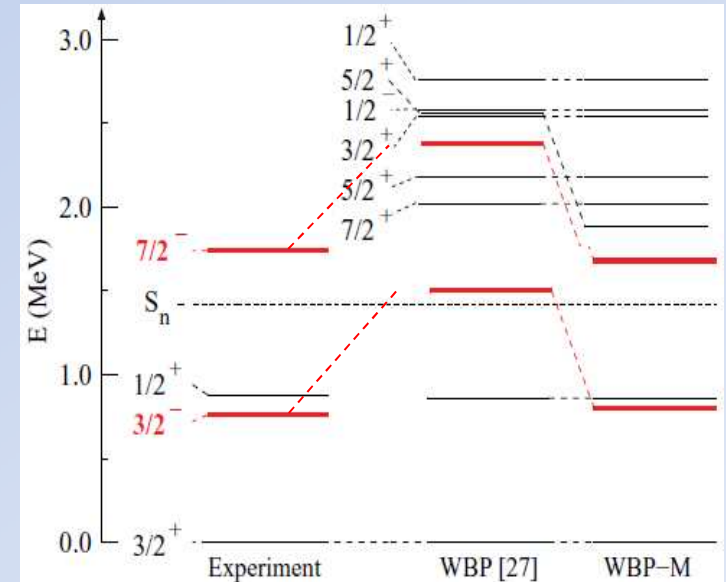
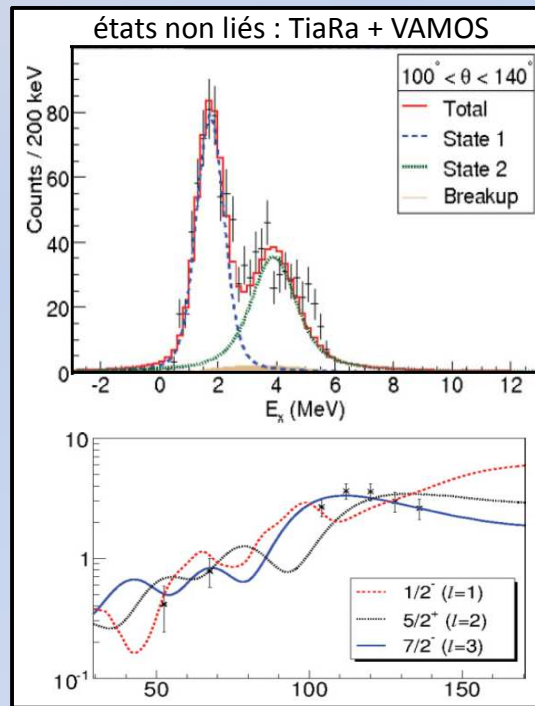
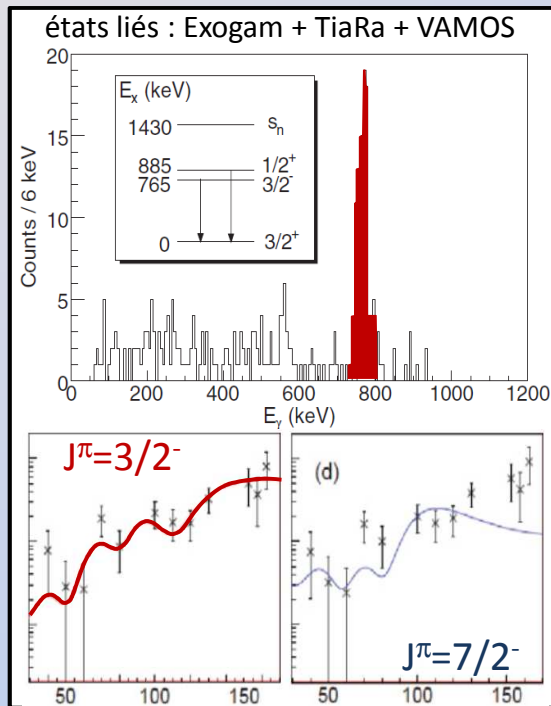
- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Brown *et al.*, Phys. Rev. C85(2012)011302(R)

Etude de la fermeture de couche N=20



N=20: Premier exemple de disparition de magicité



interaction WBP modifiée :
 → gap N=20 réduit de 0.7 MeV

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

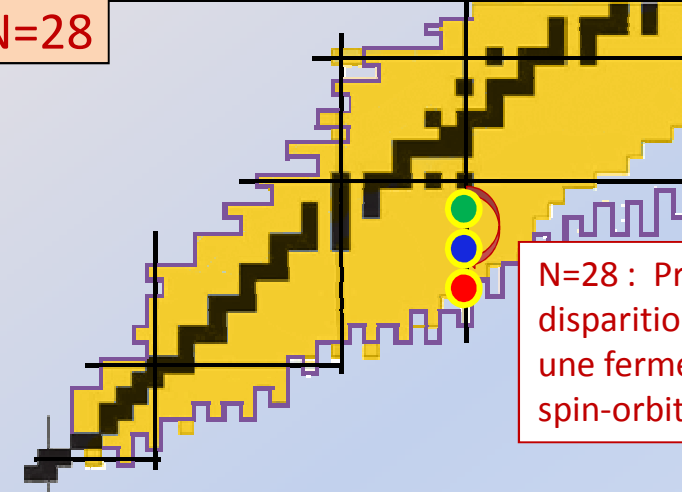
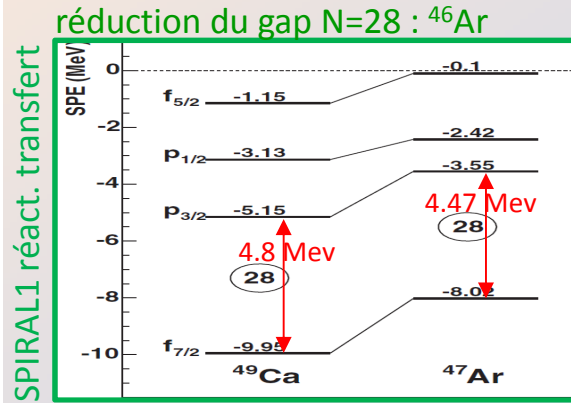
- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

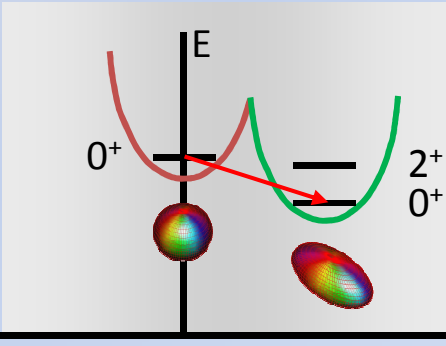
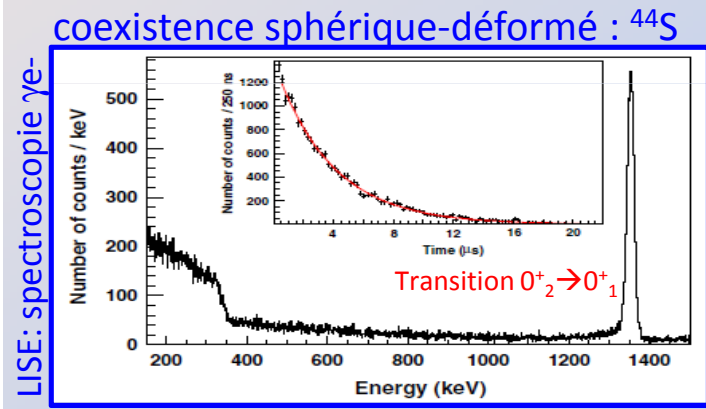
Gaodefroy *et al.*, Phys. Rev. Lett 97(2006)092501
 Bastin *et al.*, Phys. Rev. Lett 99(2007)202503
 Force *et al.*, Phys. Rev. Lett 105(2010)102501

Etude de la fermeture de couche N=28



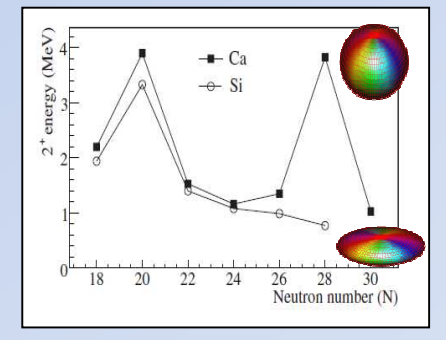
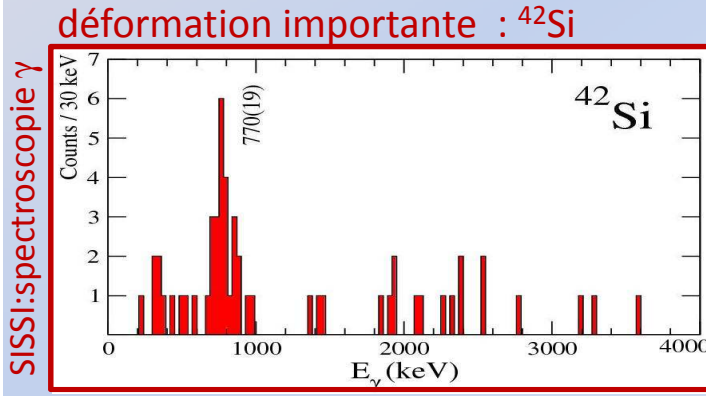
Perspectives :
 Spiral2, S3 / GASPARD, PARIS...
 ^{48}Ni - ^{78}Ni - ^{100}Sn - ^{132}Sn

N=28 : Premier exemple de disparition de magie dans une fermeture de couche de spin-orbite



Mise en évidence :

- importance des corrélations proton-neutron : force tenseur
- ➔ effet similaire au spin-orbite
- effet de la densité sur la modification de l'interaction spin-orbite



- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Mesure de temps-de-vie dans $^{62,64}\text{Fe}$

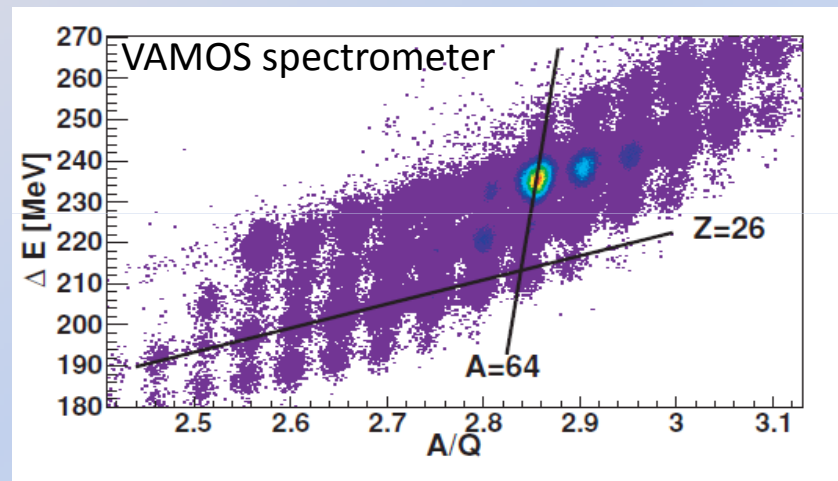
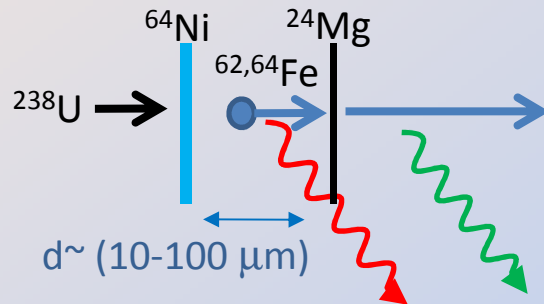
Motivation : contraindre l'interaction nucléaire au voisinage du ^{68}Ni sur le chemin du ^{78}Ni

➤ Rôle de la forte interaction π - ν dans l'apparition de la collectivité (déformation) des noyaux de masse moyenne

Méthode : mesure temps-de-vie du premier état excité [dans le domaine (1-10 ps)]

Transfer

multi-nucléons



L'évolution de l'intensité des composantes **rapide** et **lente** en fonction de la distance du ralentisseur donne une mesure "modèle indépendant" du temps-de-vie de l'état excité

→ extraction de la probabilité de transition réduite $B(E2)$

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

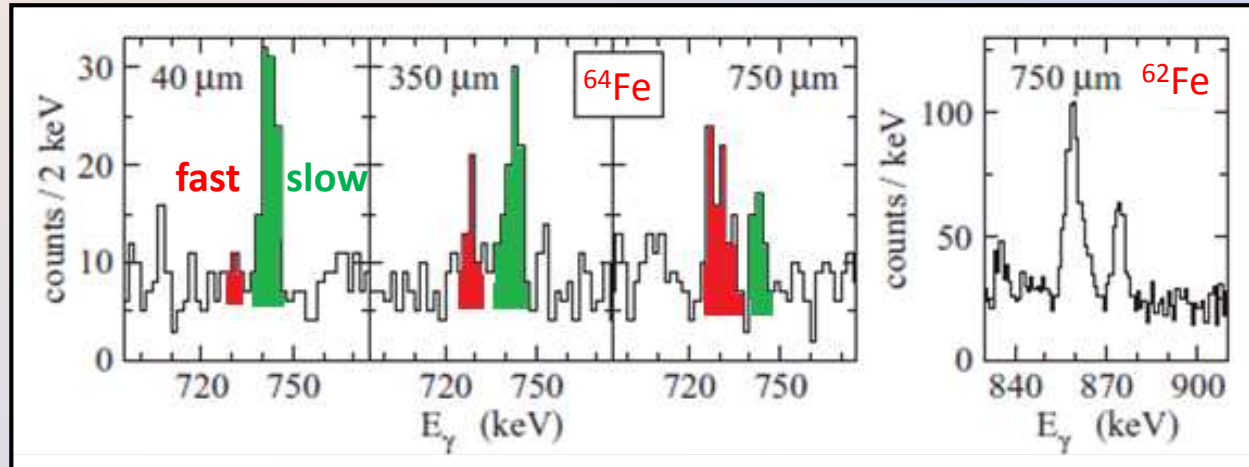
- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

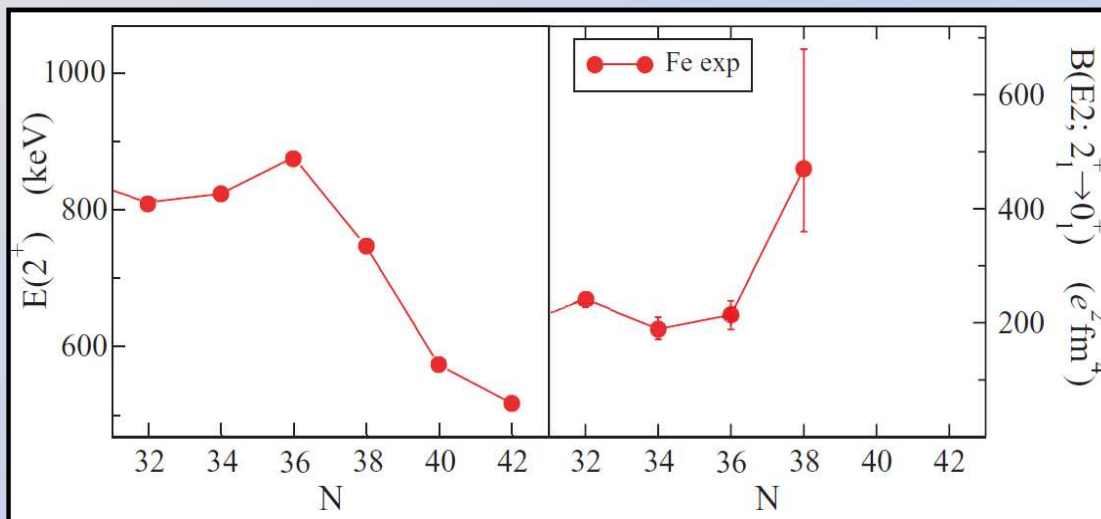
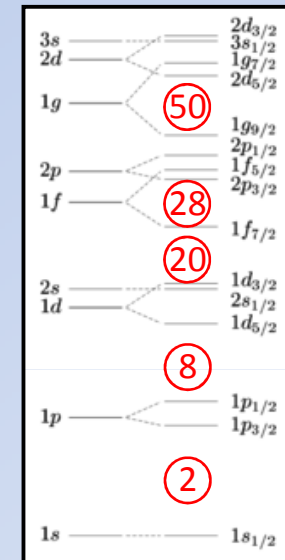
- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Ljungvall *et al.*, Phys. Rev. C81(2010)061301(R)

Mesure de temps-de-vie dans $^{62,64}\text{Fe}$



Perspectives :
Spiral2/ Exogam2, AGATA
 ^{78}Ni and ^{132}Sn regions



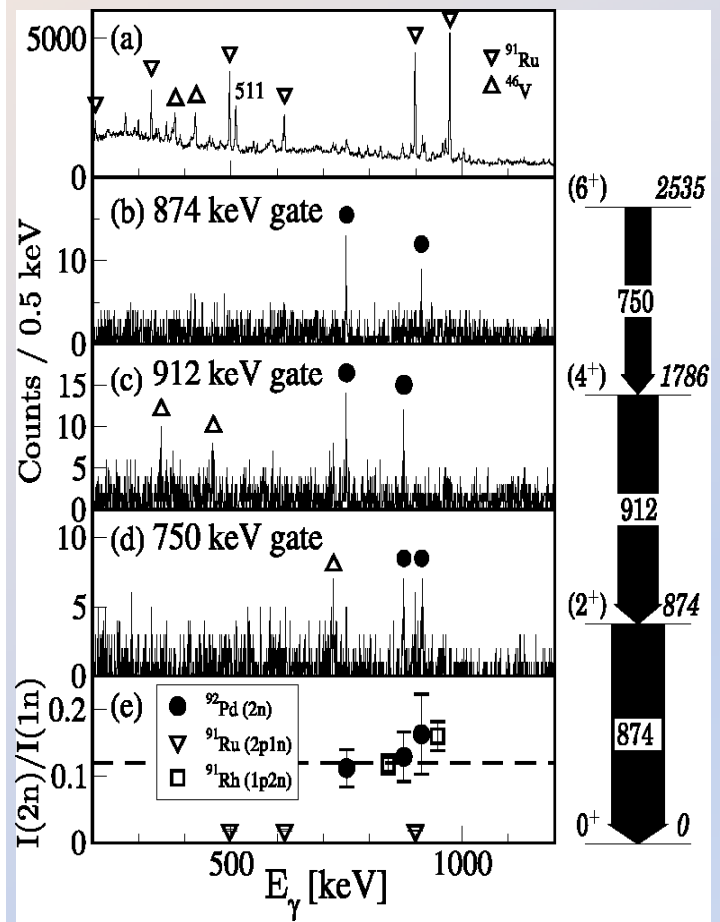
Dans le cadre du modèle en couches :

- l'espace de valence fp n'est suffisant
 - L'orbitale $g_{9/2}$ est responsable de l'apparition de la collectivité
- Comparable à l'"îlot d'inversion" connu dans les noyaux légers

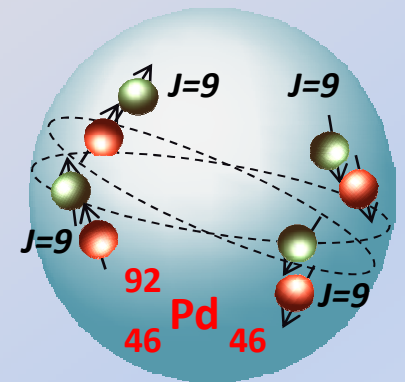
- Interactions fondamentales
- Stable CSS
- LISE
- Exogam
- Astrophysique nucléaire
- ISOL Spiral/CIME
- SPEG
- Château de cristal
- Structure
- Fragmentation LISE/SISSI
- VAMOS
- Must2/TiaRa
- Mécanismes de réaction
- LIRAT
- Maya/TPC
- Noyaux Super Lourds
- FULIS
- LPC Trap
- INDRA

une nouvelle superfluidité nucléaire?

Première identification de gamma dans ⁹²Pd

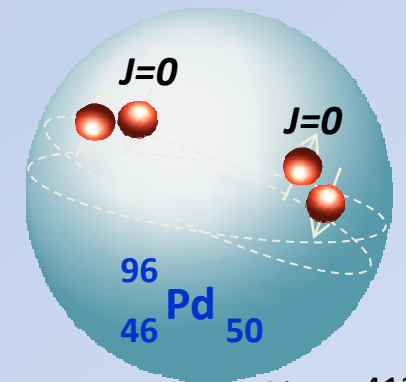


Phase d'appariement alignée en spin → canal d'appariement T=0



	10 ⁺	<u>4072</u>	
	8 ⁺	<u>3127</u>	
(6 ⁺)	<u>2536</u>	6 ⁺	<u>2466</u>
(4 ⁺)	<u>1786</u>	4 ⁺	<u>1708</u>
(2 ⁺)	<u>874</u>	2 ⁺	<u>878</u>
0 ⁺	<u>0</u>	0 ⁺	<u>0</u>
	expt.		SM

Phase d'appariement «normale», anti-alignée en spin



	10 ⁺	<u>3784</u>	10 ⁺	<u>4131</u>
	8 ⁺	<u>2530</u>	8 ⁺	<u>2636</u>
	6 ⁺	<u>2099</u>	6 ⁺	<u>2224</u>
	4 ⁺	<u>1415</u>	4 ⁺	<u>1460</u>
	2 ⁺	<u>0</u>	2 ⁺	<u>0</u>
	0 ⁺	expt.		SM

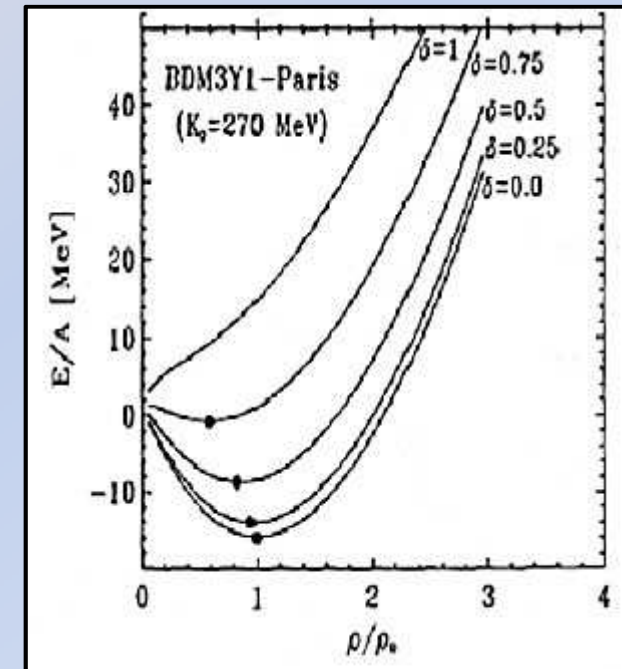
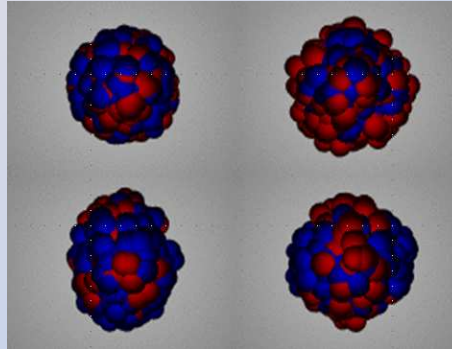
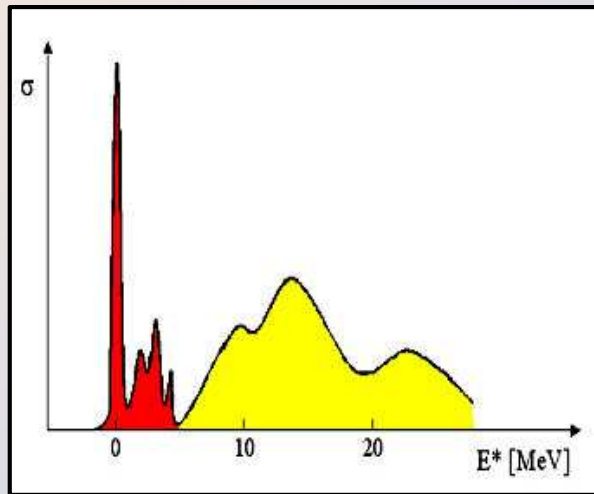
- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Etude des Résonances Géantes ...



dans les noyaux instables

- Evolution de l'incompressibilité de la matière nucléaire avec l'isospin
- Quelles sont les contraintes expérimentales venant des excitations nucléaires sur l'équation d'état ?
- Utile pour décrire l'effondrement du cœur des supernovae
- Existe-t-il de nouveaux modes d'excitations propres aux noyaux exotiques (soft monopole) ?

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

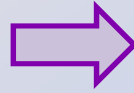
- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

C. Monrozeau *et al.*, Phys. Rev. Lett. 100 (2008)042501

Giant resonances in unstable nuclei

Noyaux Exotiques :

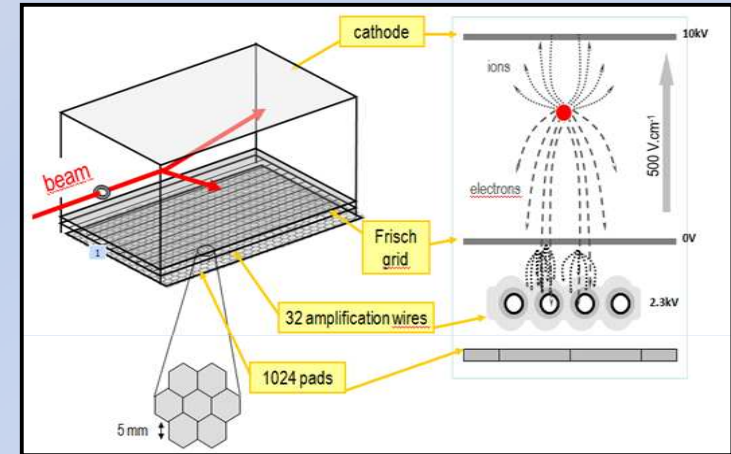
- Cinématique inverse avec énergie de recul faible -
- Faibles taux de production



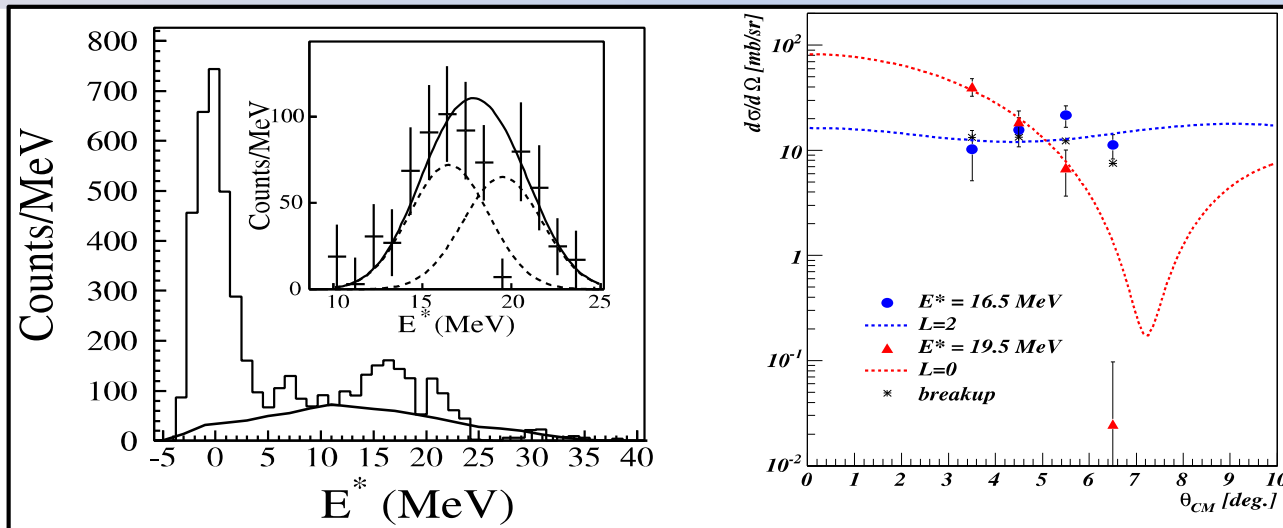
Utilisation d'une Cible Active :



- faible seuil de détection
- cible épaisse



- Première mesure des ISGMR et ISGQR dans un noyau instable ^{56}Ni : $^{56}\text{Ni} + d \rightarrow d' + ^{56}\text{Ni}^*$



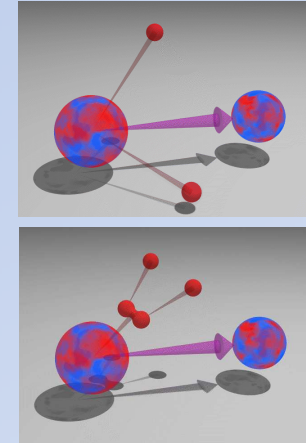
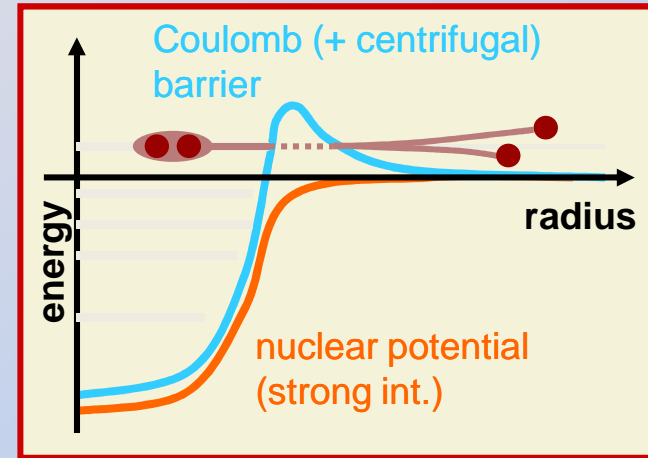
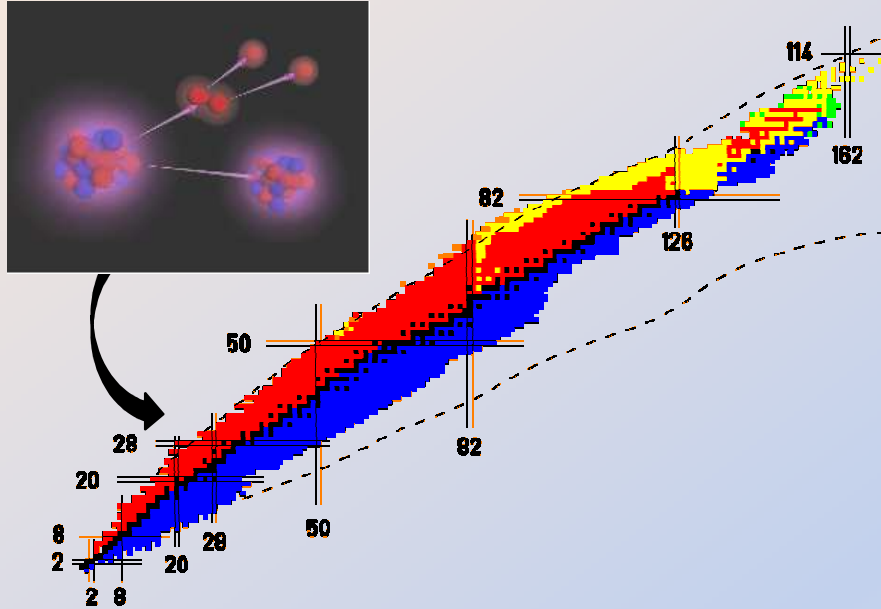
- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

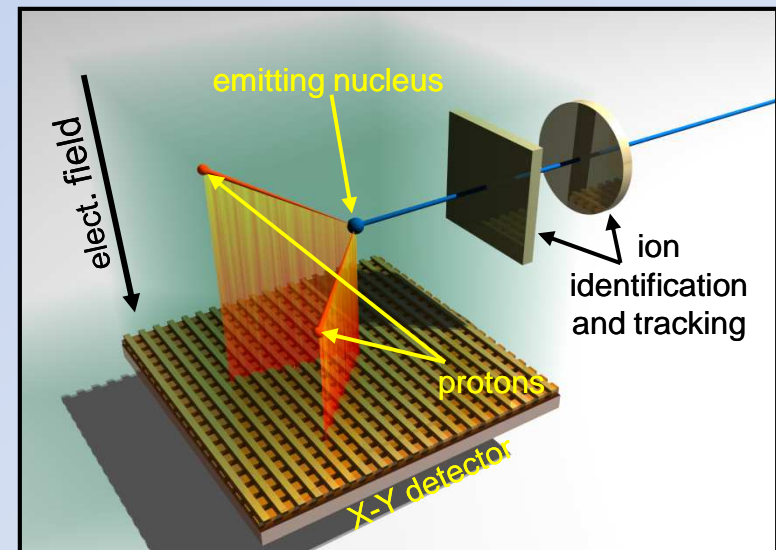
Etude de la radioactivité 2 protons



Développement d'une TPC (Chambre à Projection Temporelle)

Radioactivité 2-protons

- **limite d'existence et masses** (au-delà de la « drip-line »)
Q-values des transitions
- **structure nucléaire**
énergies, temps-de-vie, configuration d'états
- **appariement**
corrélations en énergie and angulaire des protons
- **effet tunnel**
descriptions théoriques



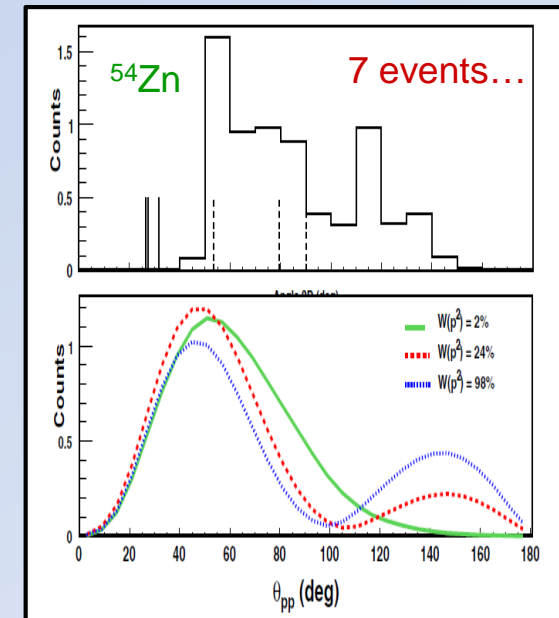
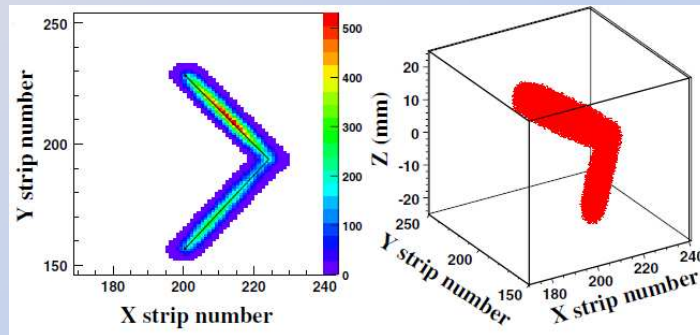
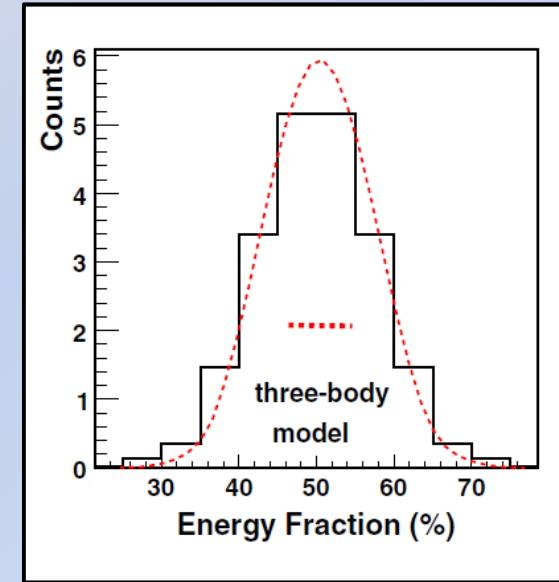
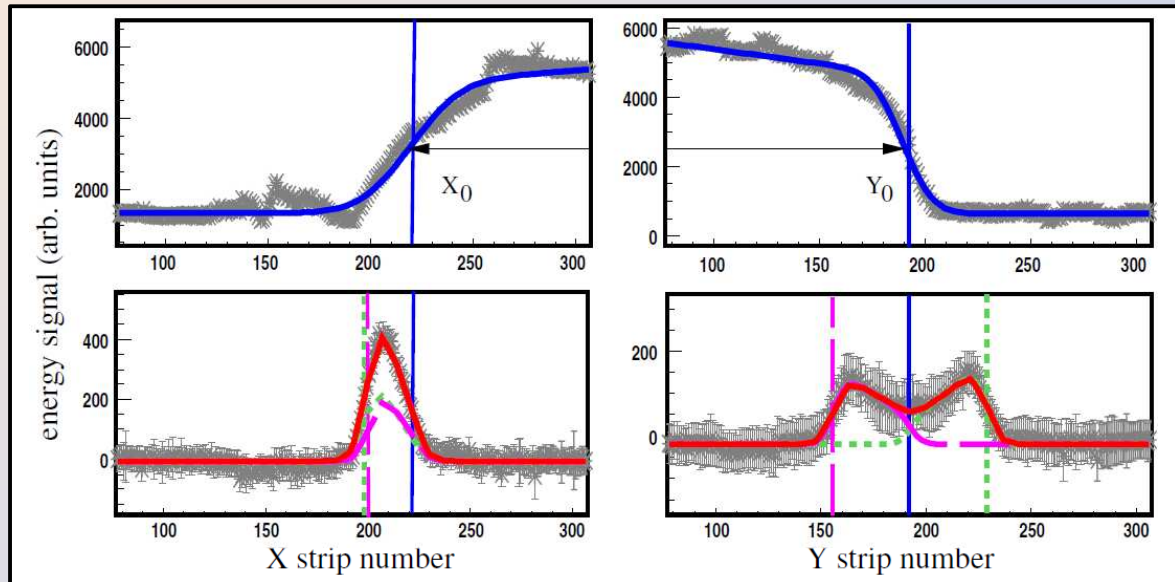
- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Ascher et al., Phys. Rev. Lett. 107(2011)102502



expériences pionnières

- Etudes de structure à la limite d'existence
- distribution angulaire comme sonde du contenu de la fonction d'onde
 - Besoin de davantage de statistique
 - Besoin d'autres cas pour tester les modèles

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

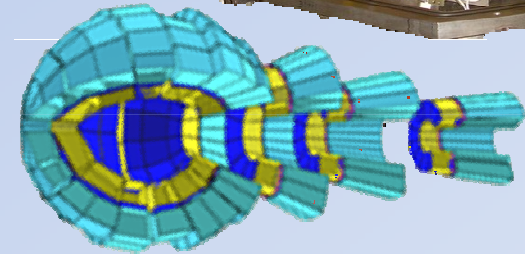
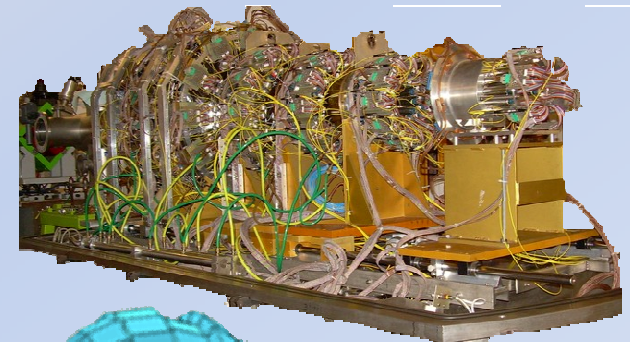
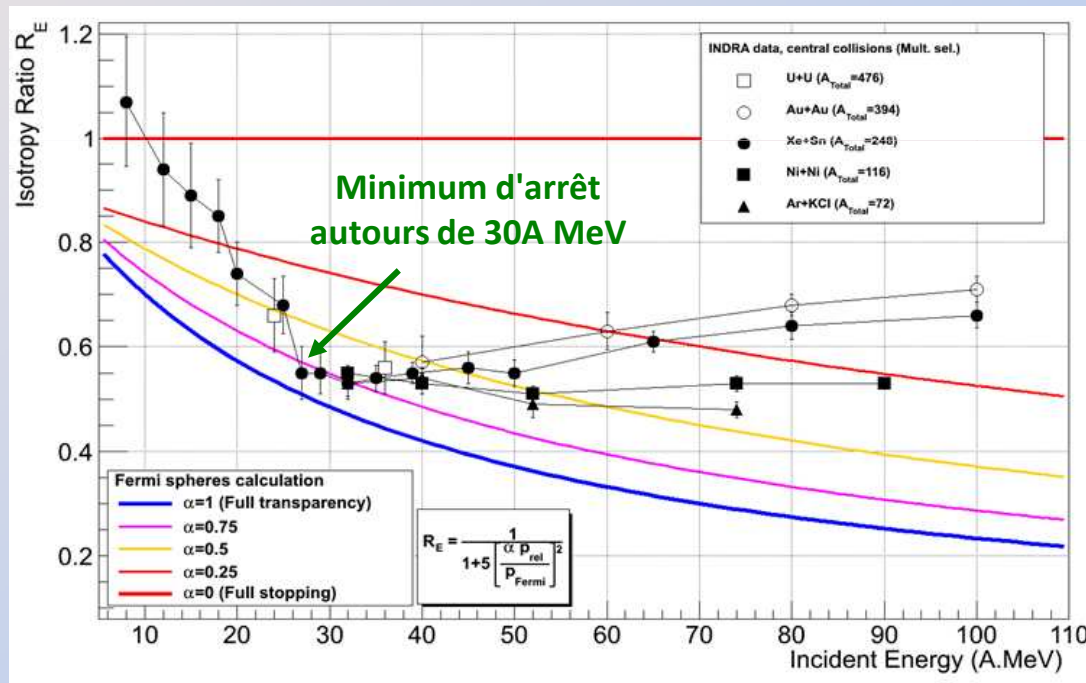
G. Lehaut *et al.*, Phys. Rev. Lett. 104, 232701 (2010)

Arrêt dans la matière nucléaire : un lien avec les propriétés de transport

INDRA : multi-détecteur de particules chargées pour l'étude des mécanismes de réaction aux énergies intermédiaires

→ équation d'état de la matière nucléaire

Rapport d'isotropie R_E : $\frac{\text{énergie transverse}}{\text{énergie parallèle}}$ (=1 si isotrope)



- $E < 30A \text{ MeV}$: Régime champ moyen et dissipation à 1-corps → accès au paramètre de viscosité
- $E > 30A \text{ MeV}$: Collisions Elastiques NN et dissipation à 2-corps → accès au libre parcours moyen dans le milieu λ_{NN}
- accès à la section efficace nucléon-nucléon σ_{NN}

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

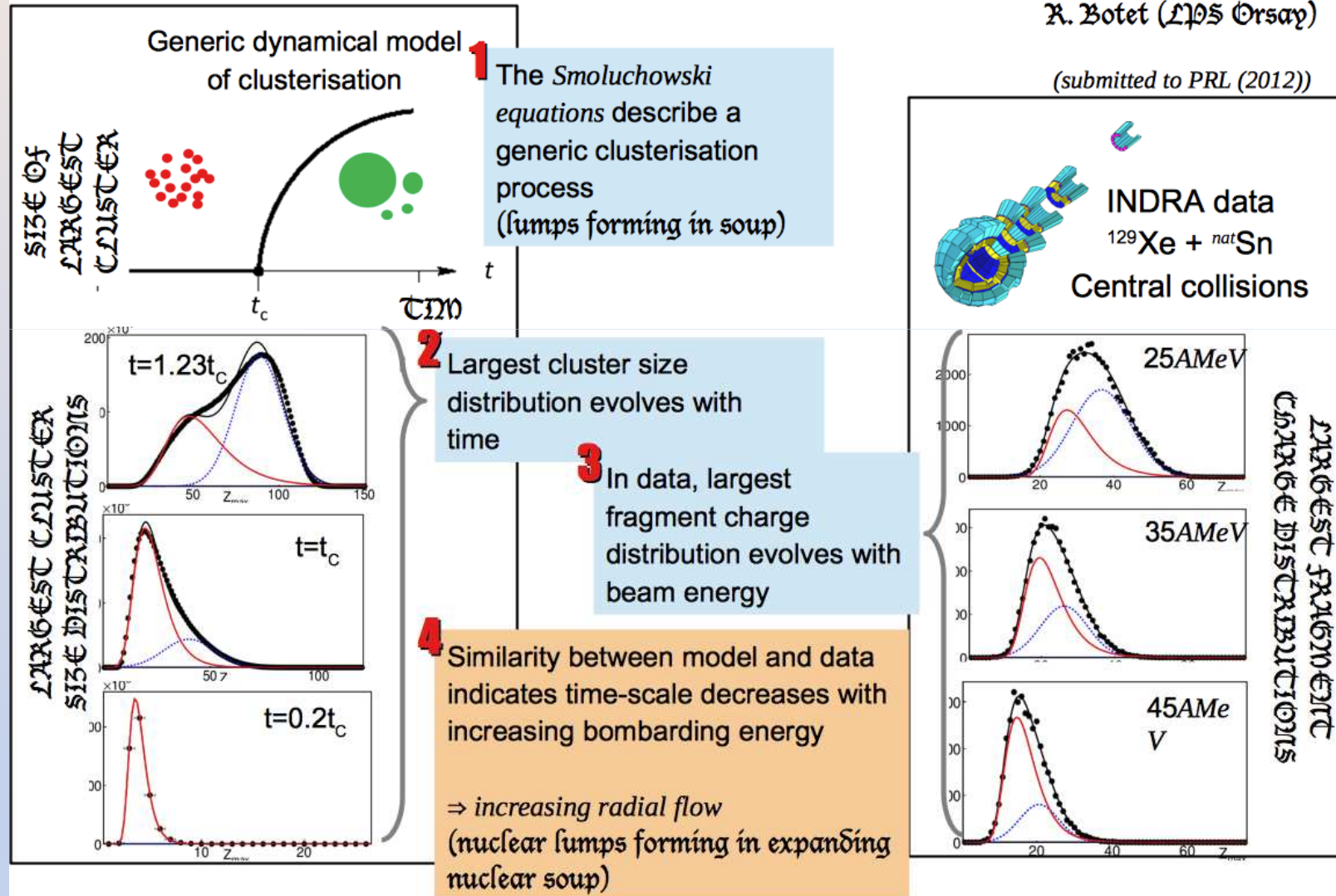
- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Deducing multifragmentation time-scales from largest fragment charge distributions

D. Gruyer Ph.D Thesis
INDRA collaboration
M. Płoszajczak (GANIL)
R. Botet (LPS Orsay)

(submitted to PRL (2012))



- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

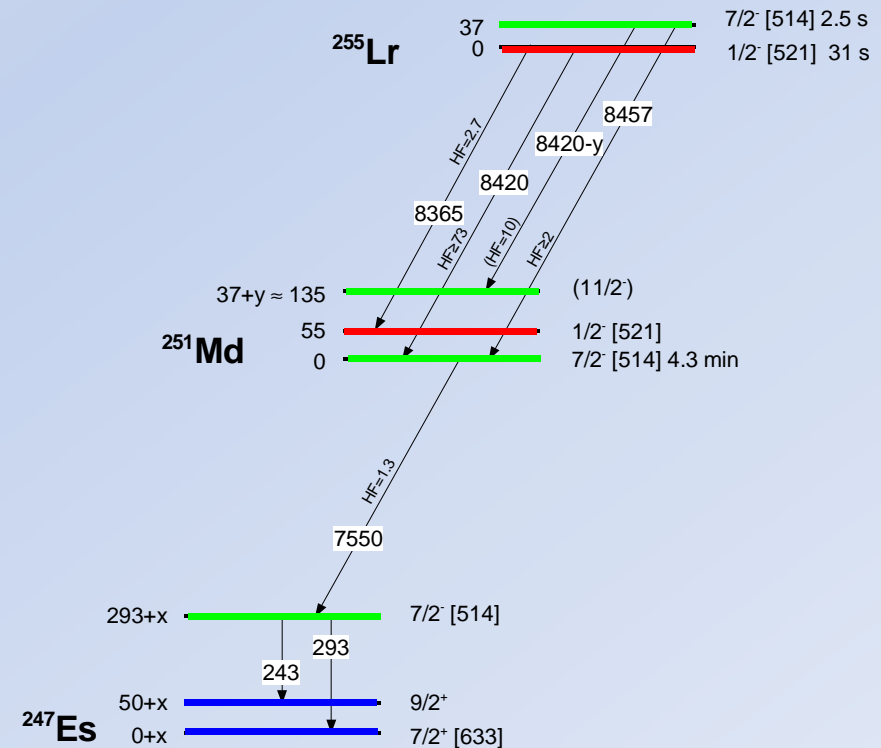
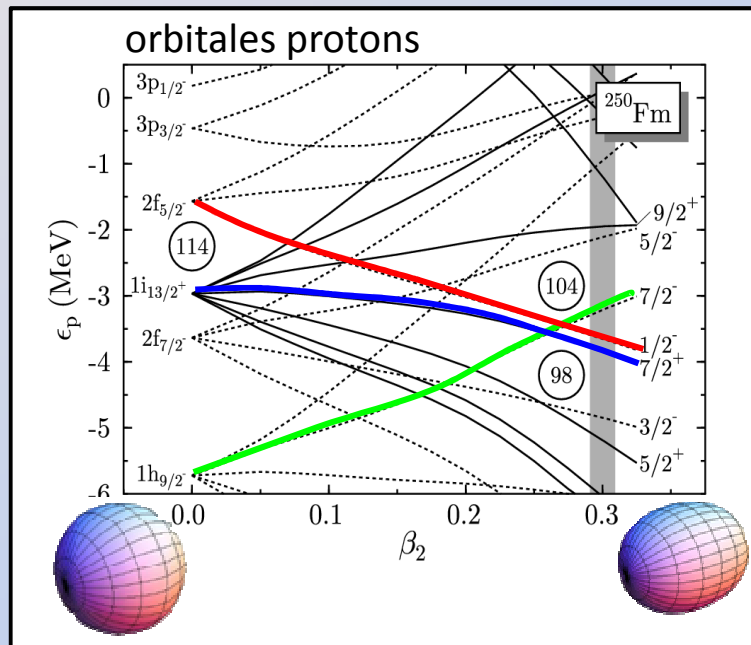
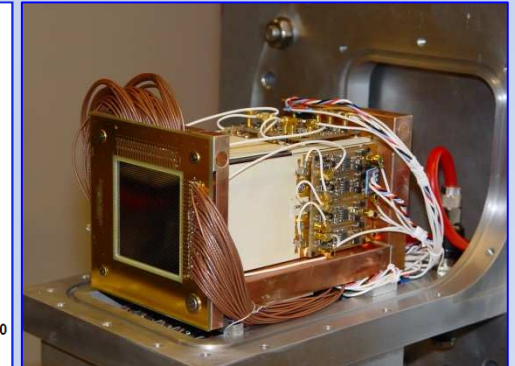
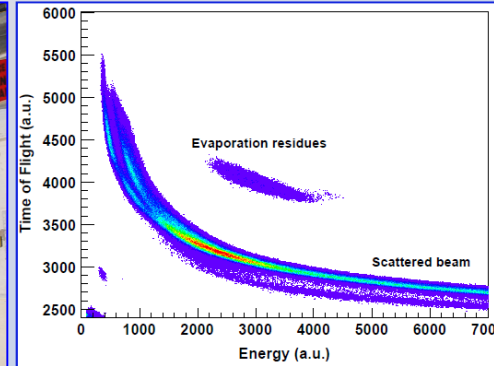
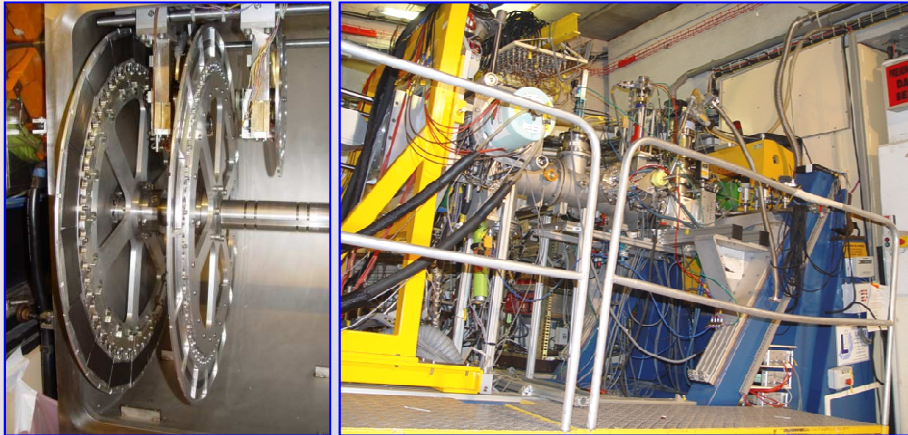
- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Spectroscopie α β γ du $^{255}_{103}\text{Lr}$

Perspectives : S3



→ Contraintes sur interaction spin-orbite et le "gap" Z=114.

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

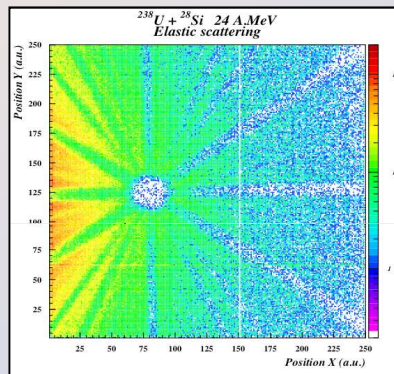
- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Mesure des temps de fission par "blocking effects"

Presque impossible de synthétiser des noyaux avec $Z > 118$ et des temps de faisceaux réalistes

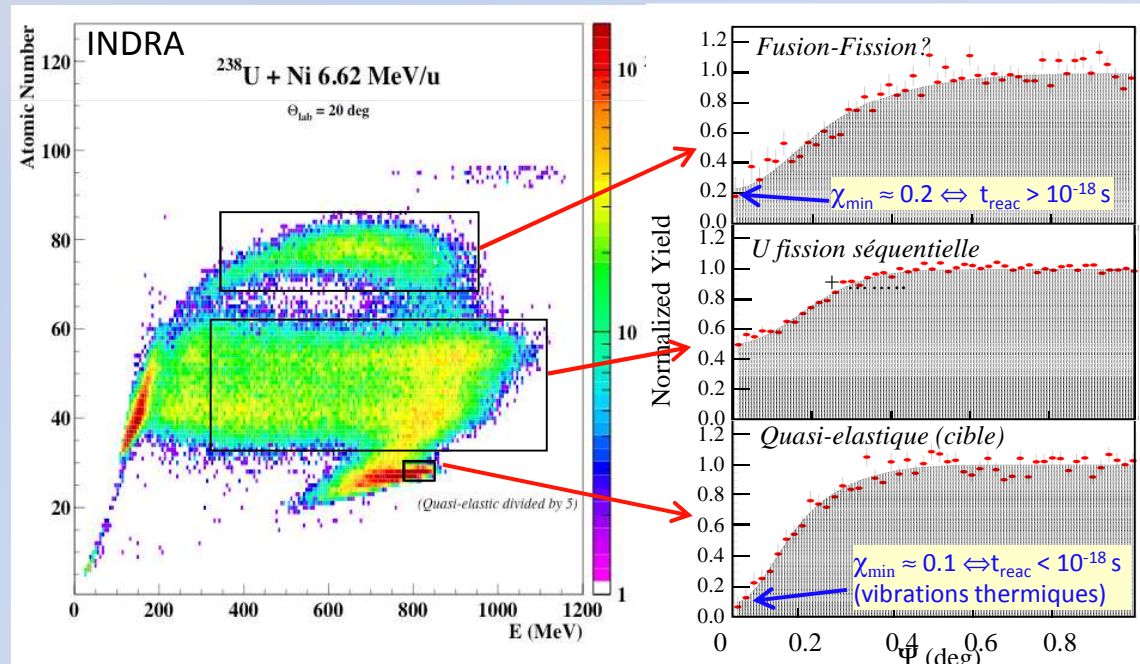
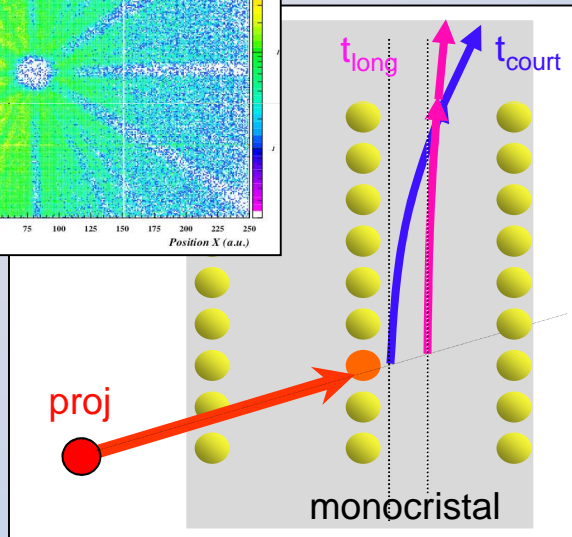
Stabilité \Leftrightarrow Haute barrière de fission \Leftrightarrow Long temps de fission

Recherche du maximum de stabilité par des mesures de temps de fission



Mesure de temps par la technique d'ombre dans les monocristaux

$t_{\text{court}} / t_{\text{long}}$: peu / beaucoup d'ions dans l'axe du cristal



Au moins 10 % des noyaux formés ont un temps de fission supérieur à 10^{-18} s

Les noyaux $Z = 120$ and 124 ont été formés et ont une haute barrière de fission

- Interactions fondamentales
- Astrophysique nucléaire
- Structure
- Mécanismes de réaction
- Noyaux Super Lourds

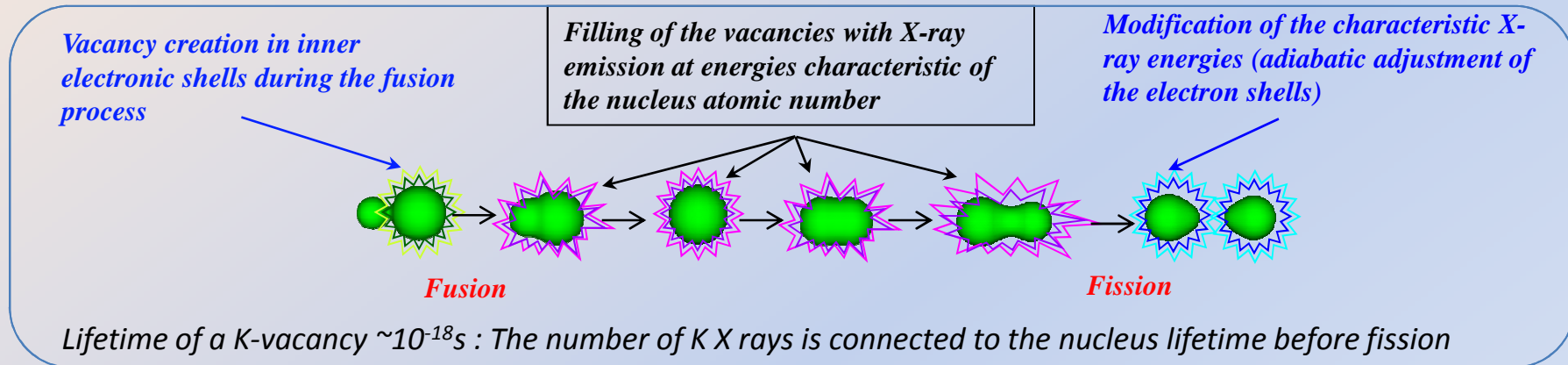
- Stable CSS
- ISOL Spiral/CIME
- Fragmentation LISE/SISSI

- LISE
- SPEG
- VAMOS
- LIRAT
- FULIS

- Exogam
- Château de cristal
- Must2/TiaRa
- Maya/TPC
- LPC Trap
- INDRA

Fluorescence X

(Reaction time from inner shell vacancy lifetime)



X ray observed in $^{238}\text{U} + ^{64}\text{Ni}$ at 6.6 A.MeV (M.O.Frégeau *et al.*, PRL 2012) :

- Energy and width expected for X_K rays from $Z = 120$ atoms
- X rays in coincidence with fission fragments with $Z_1 + Z_2 = 120$
- Emission from a system recoiling in the beam direction (Doppler effects analysis)

Conclusion: X_K rays from $Z = 120$ atoms

The formed $Z=120$ nuclei survive longer than the lifetime of the K-vacancies of $Z=120$ atoms ($10^{-18}s$)

Advantage of the X-ray fluorescence technique with respect to the blocking technique:

- No need of single crystals as a target
- Possibility to use isotopic targets

Possibility to scan the island of stability in Z and N

