

Evolution des couches et les effets des collectivité dans les noyaux riches en neutrons

Nombre de protons Z >



G. Duchêne, R. Lozeva et F. Didierjean

Contact : **Duchêne Gilbert** ou **Radomira Lozeva (thèse)** et/ou **F. Didierjean (stage M2)**

Téléphone : 03 88 10 66 12 ou 03 88 10 63 78

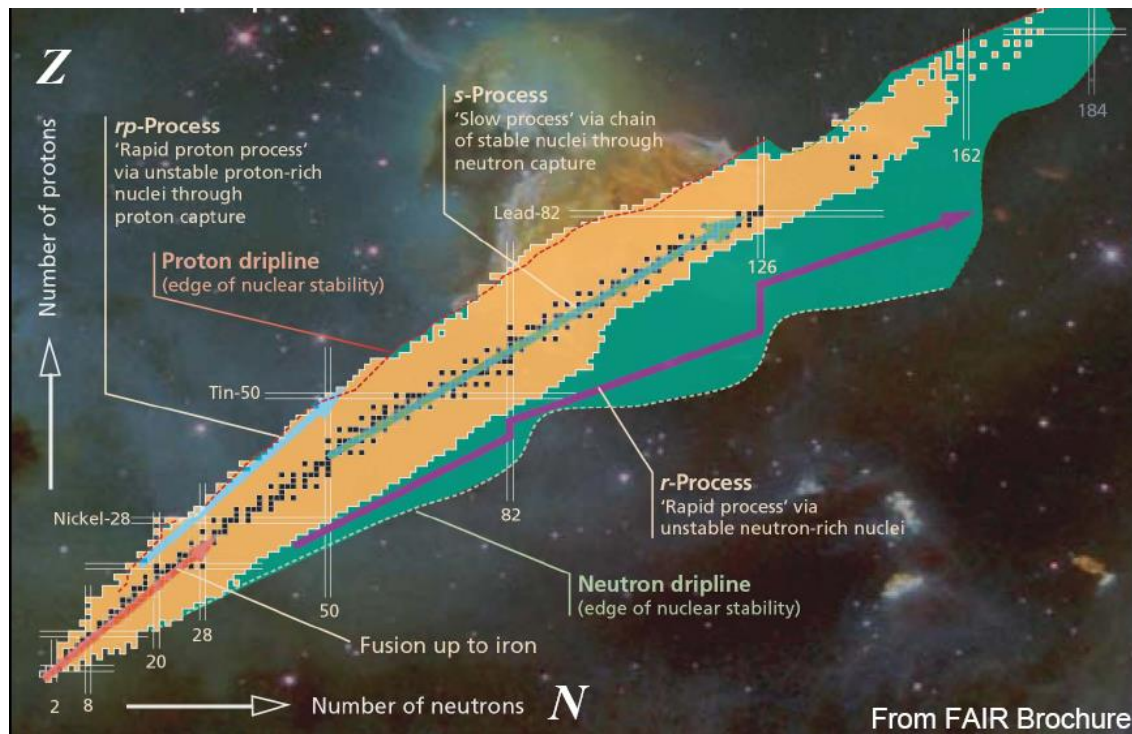
E-mail : gilbert.duchene@ires.in2p3.fr ou radomira.lozeva@iphc.cnrs.fr ou francois.didierjean@iphc.cnrs.fr

Batiment 27 (bureau 205 ou 214)

Laboratoire d'accueil : Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC), Département de Recherches Subatomiques (DRS),

Equipe : Couches et Aimants dans le Noyaux (CAN), Adresse : 23, rue du Loess, BP 28 – 67037 Strasbourg CEDEX 2

Physique du processus r en astrophysique



A la fin de la combustion du fuel nucléaire des étoiles massives, le cœur de ^{56}Fe collapse en une étoile à neutron ou un trou noir :

- flux de neutrons extrêmement élevé pendant un temps très bref
- après "freeze out" on obtient la courbe d'abondance

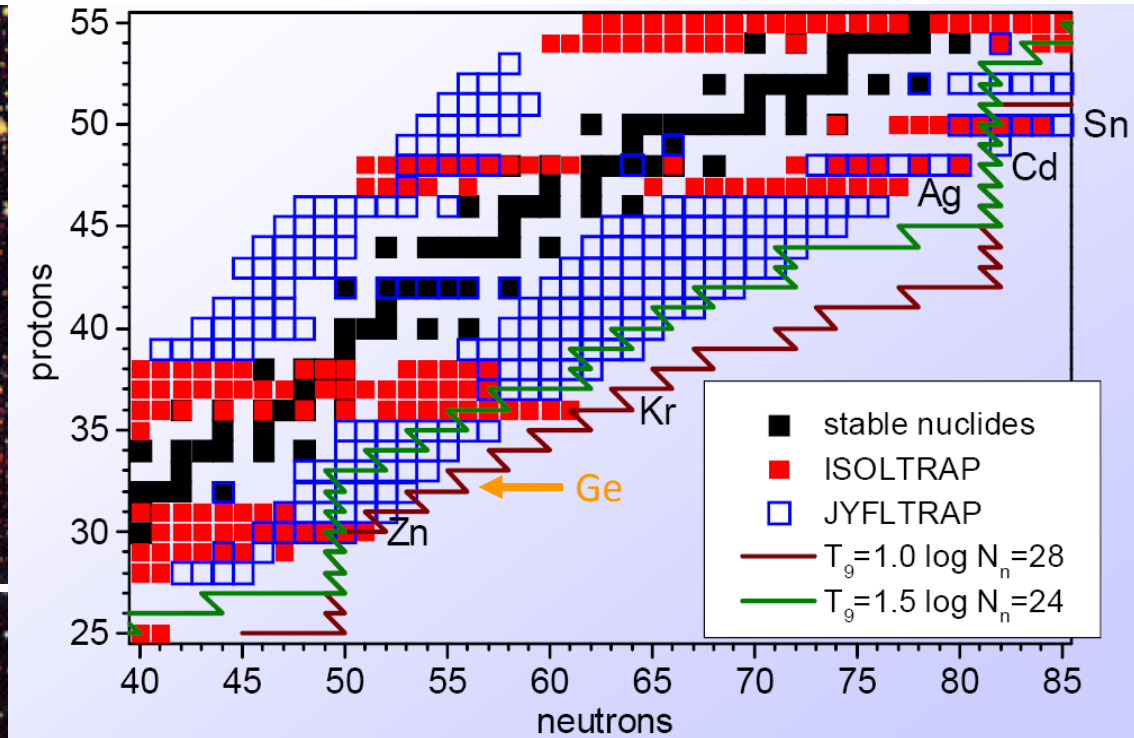
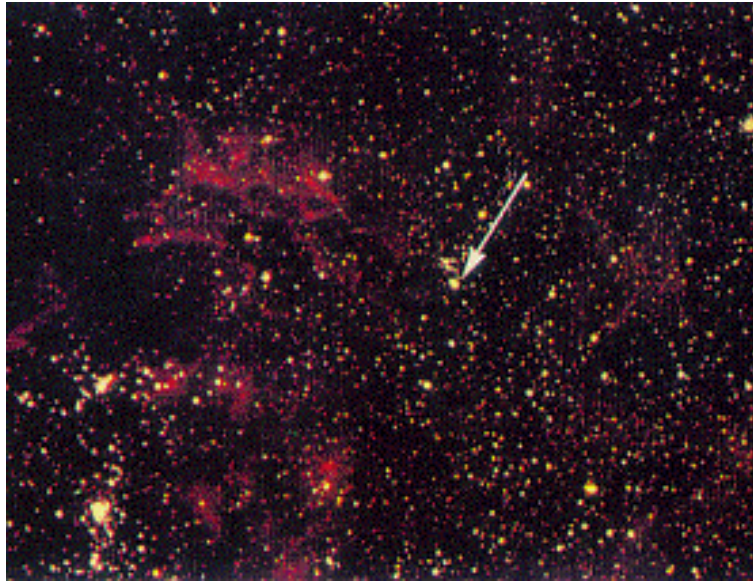


Production des éléments lourds par captures neutron et décroissances β successives

La moitié des éléments au-dessus du Fe sont créés par le processus r, l'autre moitié par capture lente de neutrons.

Le chemin du processus r dépend des conditions astrophysiques (température, densité,...) et de la structure nucléaire des noyaux produits (énergie de liaison des neutrons, demi-vie, états excités de basse énergie et états isomères, émission Pn,...)

Supernovae de type II

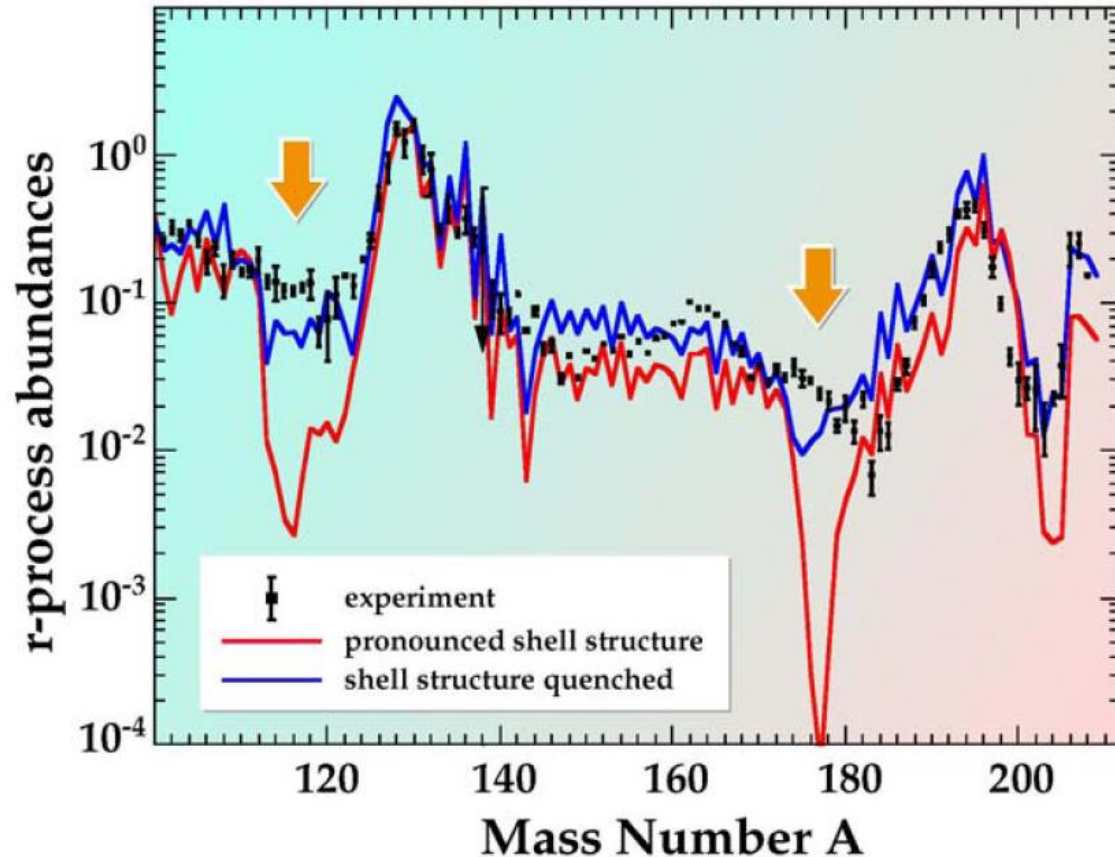


Grandeurs à mesurer :

- Durée de vie τ_β de l'état fondamental et/ou d'un état isomère
- Probabilité d'émission neutron retardée P_n

Supernovae explosion (Crabe)

Implication en astrophysique



Explosion de supernovae :

le chemin du processus r passe le long de la fermeture des couches $N=50$ et $N=82$

Modèle en couches

Structure en couches

- Pour les protons
- ...et les neutrons

Excitation de nucléons

- D'une couche à l'autre

énergie nécessaire
importante

-> gap en énergie

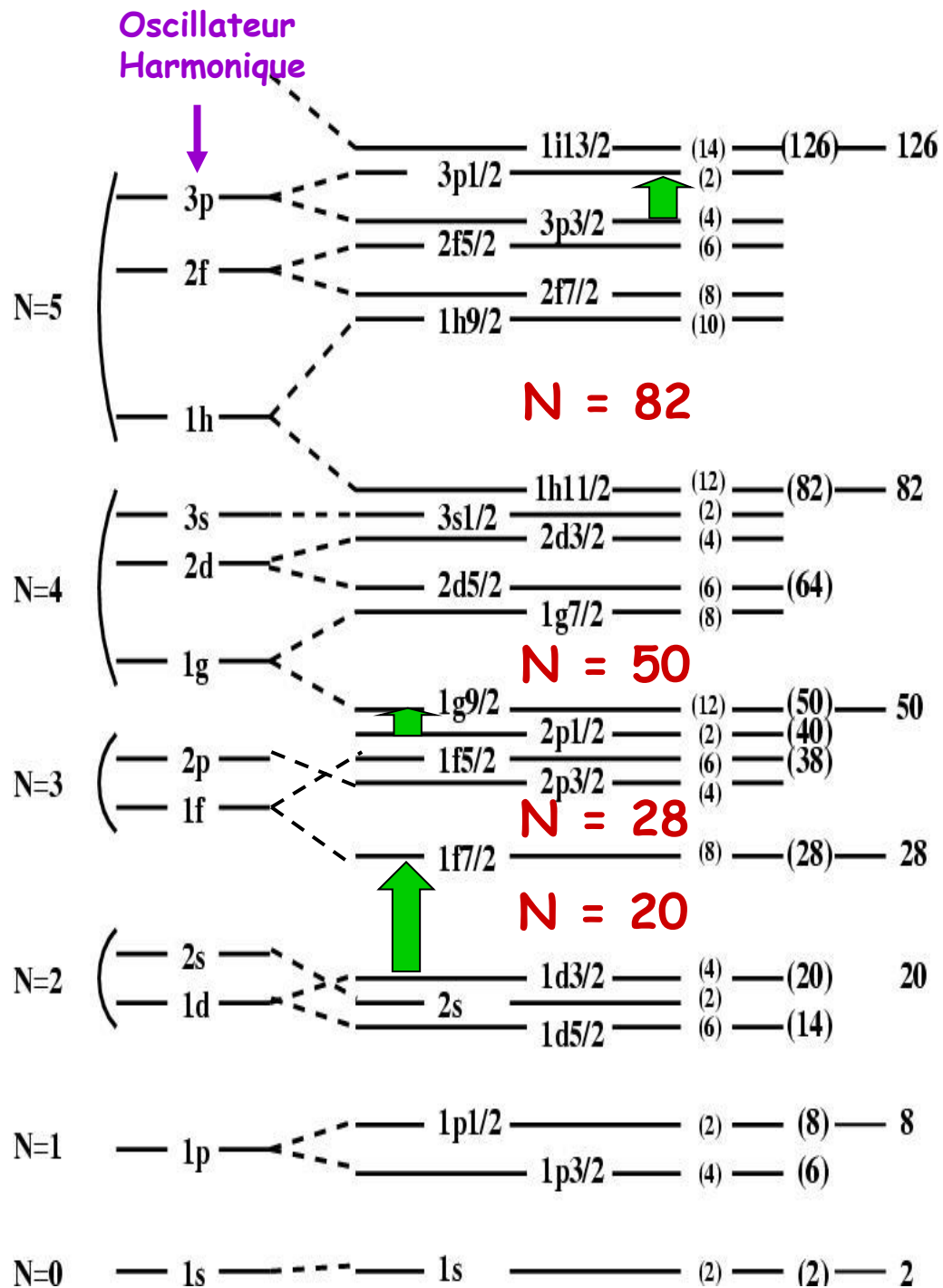
- Au sein d'une même couche

énergie nécessaire modérée

Autres effets

- La déformation et la collectivité du noyau...

-> ouvre à de nombreux sujets intéressants en physique nucléaire expérimentale



Riches en neutrons au-delà de N=50 : évolution des gaps en énergie

Prédiction de Winger :

- HFB + SkO_T incluant des termes tenseurs
- Affaiblissement gap N = 50 pour Z < 28 et ouverture nouveau gap N = 58

vd_{5/2}-vd_{3/2} gap increases, Z<28, repulsion forming gap

- **Apparition gap N=56 pour Z > 28**

vd_{5/2}-vs_{1/2} gap increases, Z>28, repulsion forming gap

Qq données expérimentales contradictoires :

- ⁸¹₃₀Zn₅₁ (1/2⁺ état fondamental) : ouverture plus forte pour Z plus élevé du gap N = 58

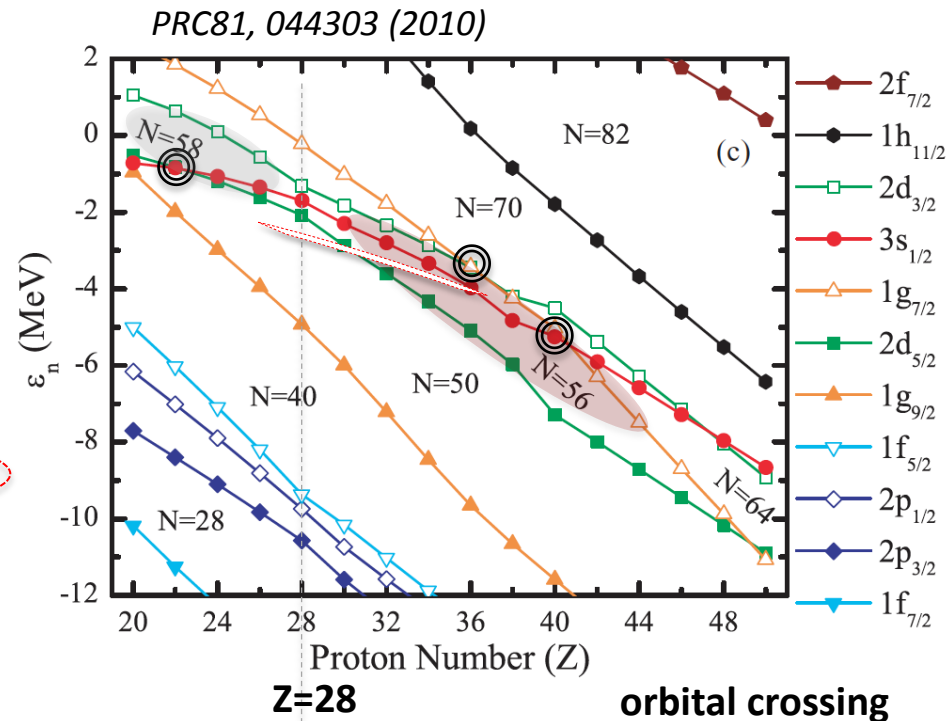
PRC 76, 054312 (2007)

- ⁸¹₃₀Zn₅₁ (5/2⁺ état fondamental) : contradiction!
Gap N=56 se ferme à Z = 30 ou 32 ?

PRC 82, 064314 (2010)

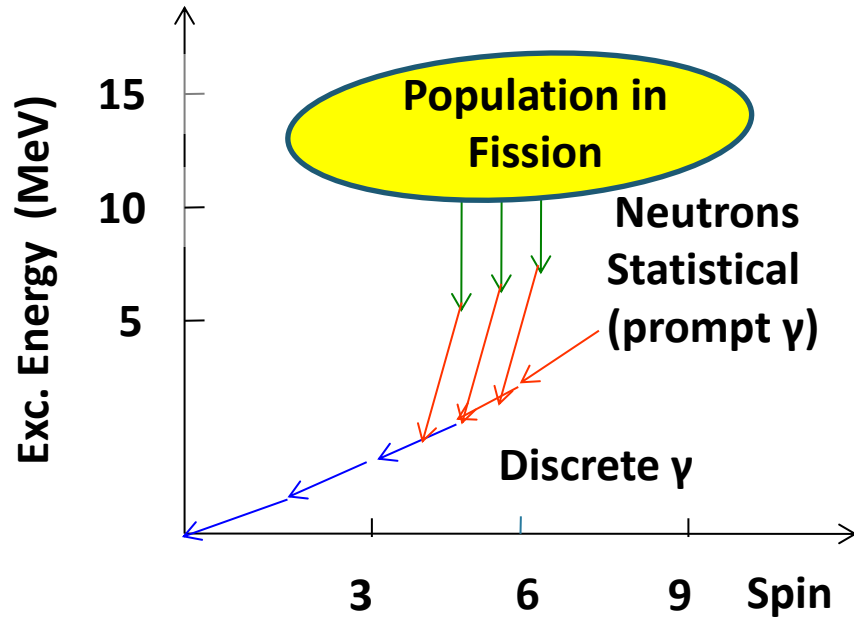
D'autres études sont nécessaires...

Etats fondamentaux



Not scary !!!
just looks complicated ☺

Structure nucléaire des isotopes riches en neutrons



Addition de neutrons: affecte la surface nucléaire

Conséquence probable: affecte la force de spin-orbite

$$\leftarrow V_{ls}(r) \propto \frac{1}{r} \frac{dV(r)}{dr}$$

-> forte influence sur la fermeture des couches

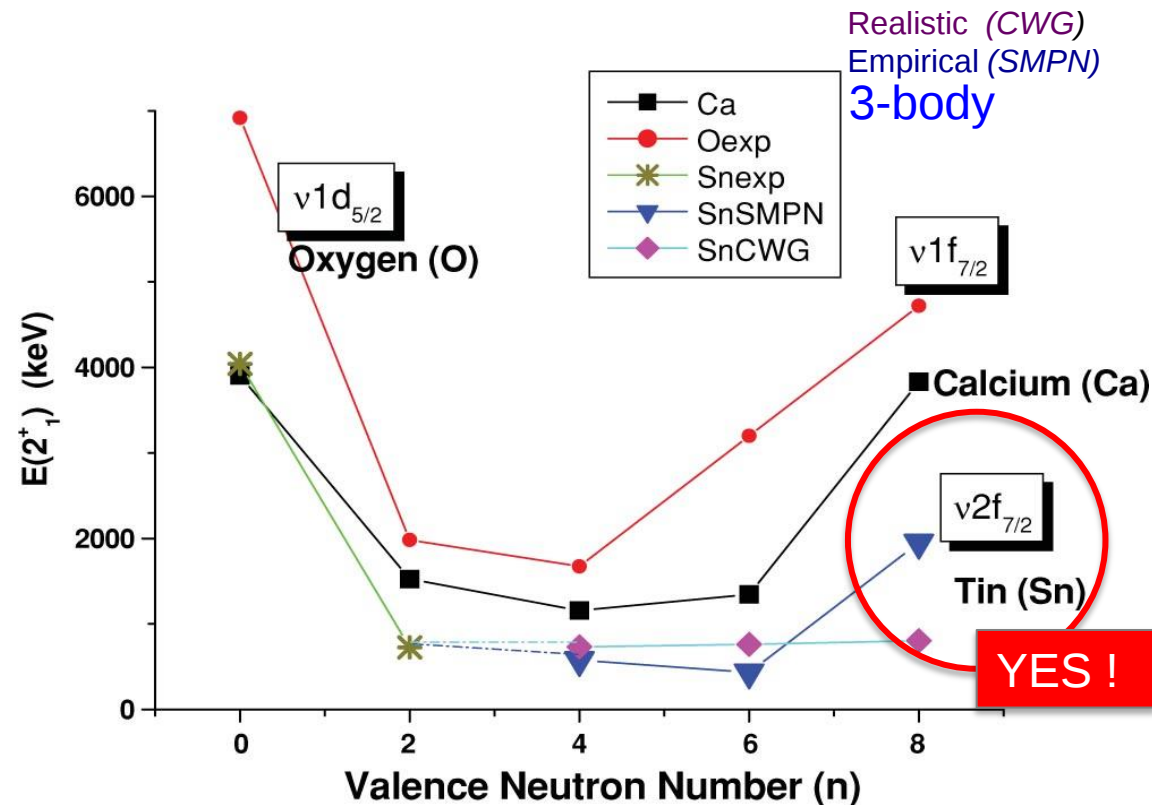
Mesurer les caractéristiques des transitions de basse énergie pour en déduire les propriétés du noyau :

- Collectivité, moment d'inertie et déformation
- Structure à particules indépendantes,...

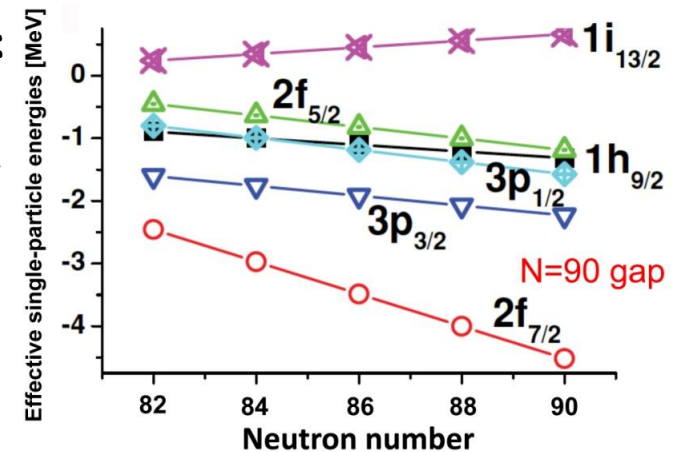
Ouverture du gap N=90 : noyaux Sn, Sb, Te, I... autour de ^{132}Sn (magique p et n)

Prédictions de différentes descriptions théoriques:

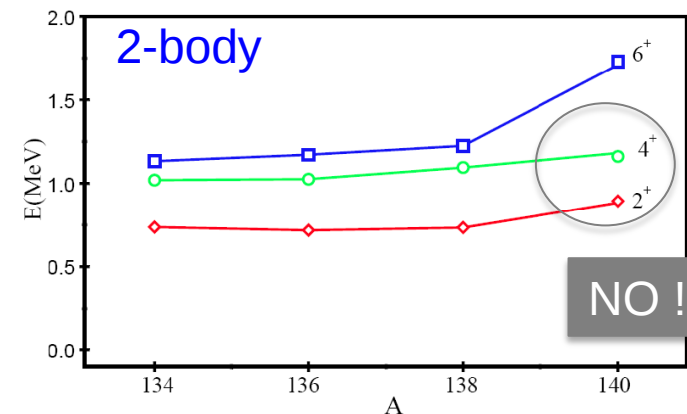
Interactions entre nucléons : fort impact sur la structure nucléaire, l'ordre et le croisement des orbitales, les fermetures de couches,...



Phys. Rev. C81, 064328 (2010)



Phys. Rev. C 78, 024308 (2008)

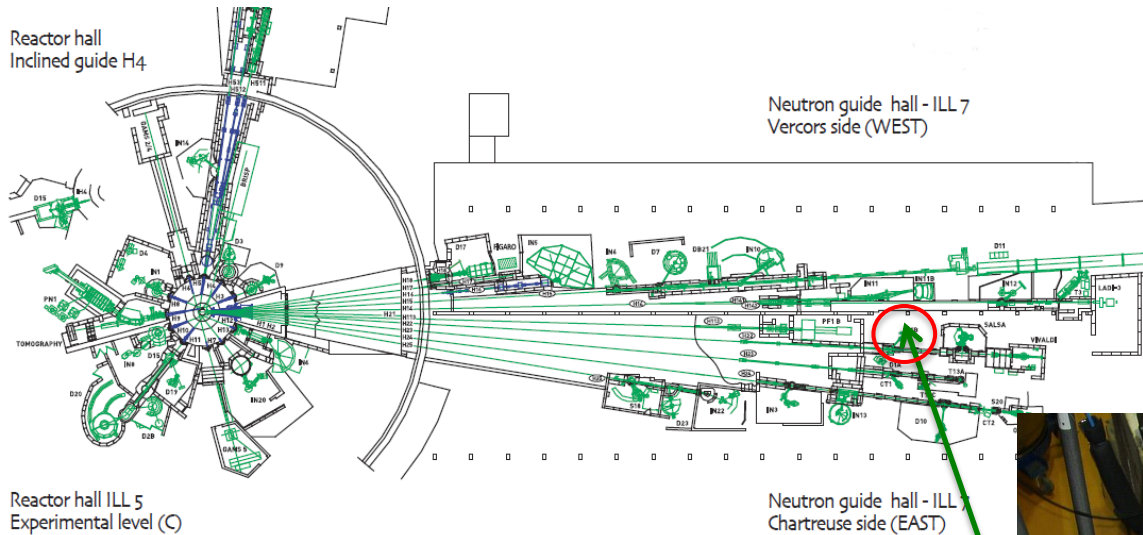


Prog. Part. Nucl. Phys. 62, 135 (2009)

Exemples

EXILL multidetector system @ ILL

EXILL = EXOGAM à l'ILL



Nuclear reactor with highest n- flux
($5 \times 10^{14} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

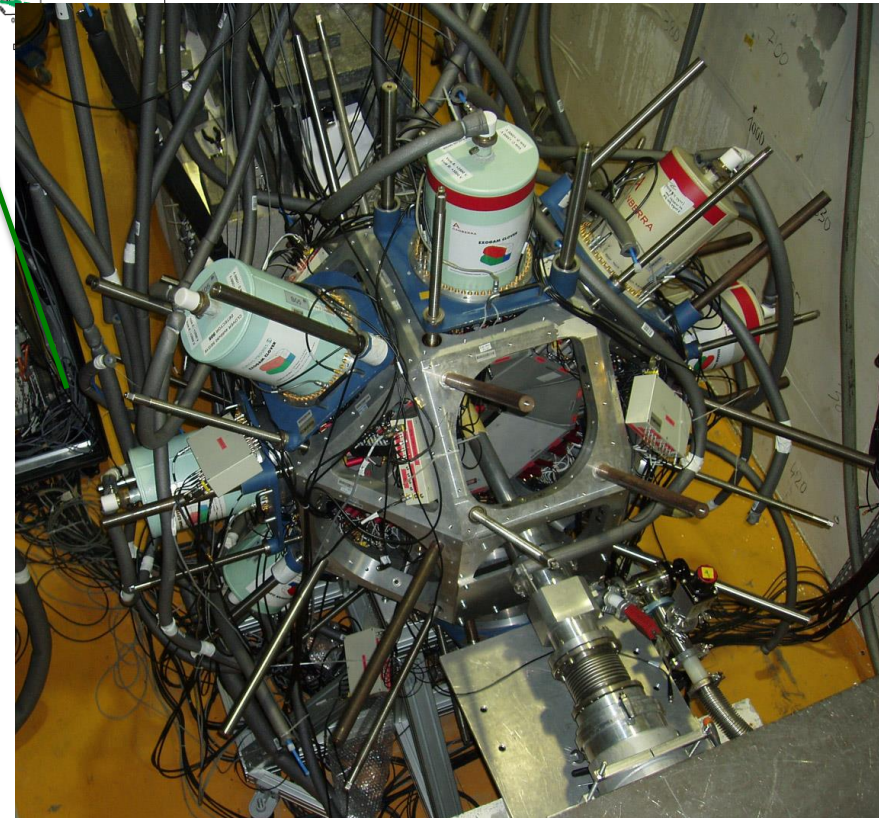
→ ballistic neutron guide

→ PF1b zone ($2 \times 10^{10} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

Etude des produits de fission

autour de Ni et autour de Sn

- Les fragments de fission sont riches en neutrons et placés aux environs du chemin du processus r
- Cibles radioactives (^{235}U , ^{241}Pu)
- Haut flux de neutrons
- Sections efficaces élevées → fort taux de comptage, taux coïncidence élevé



EXILL multidetector system @ ILL -> FIPPS

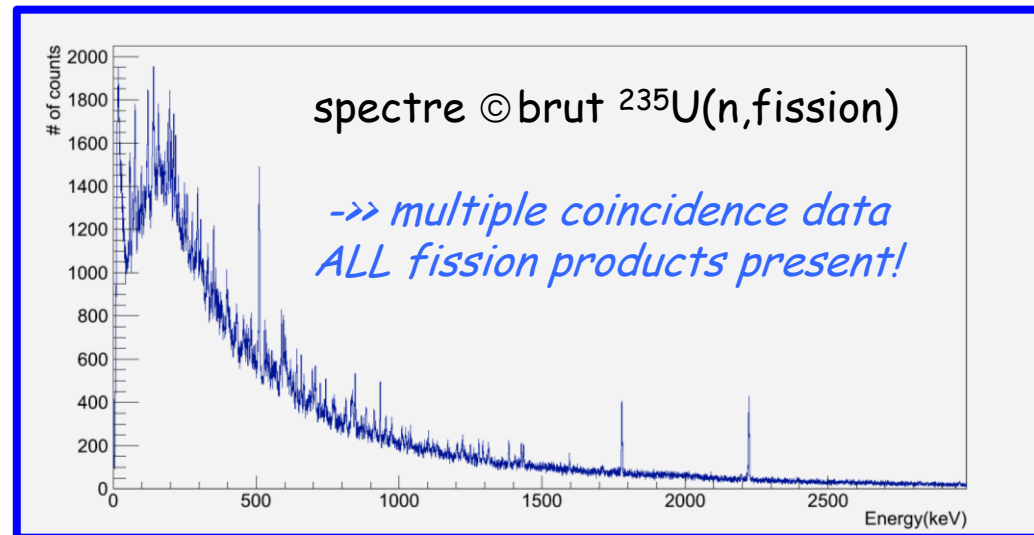
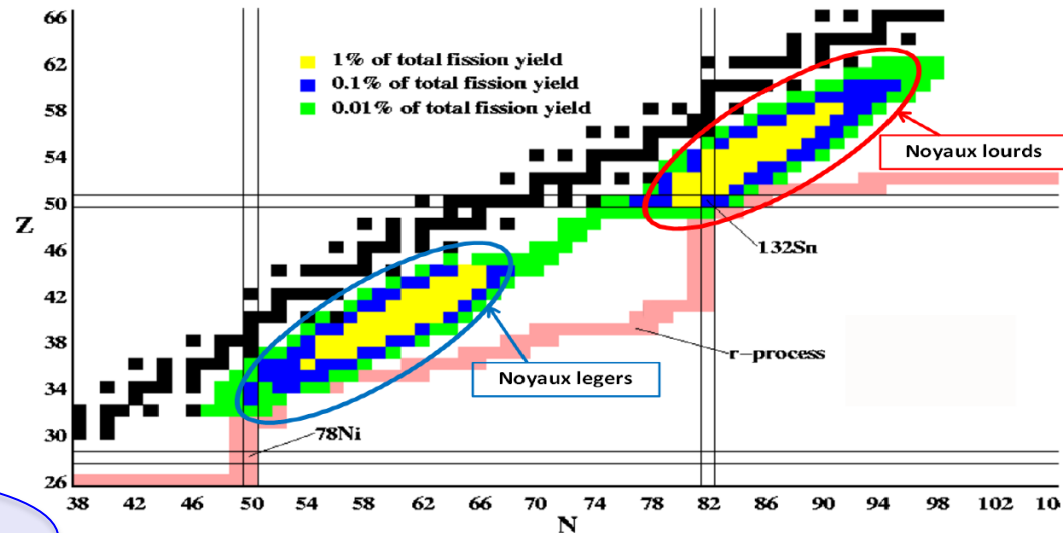
- 16 détecteurs GeHP: 10 Clovers + 6 coaxiaux (46 cristaux de Ge)
- Combinés avec scintillateurs $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ pour mesure de **temps ultra-rapide**
- Electronique numérique, acquisition sans déclenchement (triggerless)

Expérience déjà réalisée et données disponibles (**stage M2**)

Perspectives :

- future installation **FIPPS** à l'ILL d'ici **2015-2016**
- Expériences complémentaires prévues

Thèse et/ou
Stage M2



Continuation dans le cadre des expériences auprès d'ALTO ->> DESIR @ Spiral2

Thèse

Etudes **décroissance $\beta\gamma$** (détecteur BEDO) et/ou neutrons (détecteurs TETRA)

autour de Ni et autour de Sn: expériences prévues en 2015 !

UNE USINE À NOYAUX EXOTIQUES

Méthode de production

La fission de l'uranium est induite par des photons générés à partir d'un faisceau intense d'électrons.

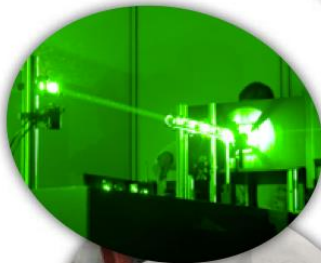
e-LINAC



Préparation et purification du faisceau

Le faisceau exotique est purifié par différentes techniques de séparation isotopique en ligne (ISOL): ionisation résonante par laser (RIALTO), séparation en masse (PARRNe)...

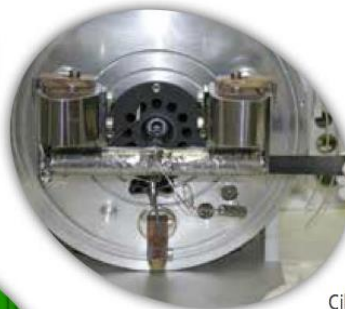
En haut: RIALTO
En bas: PARRNe



Cible de production

La photofission a lieu dans une cible épaisse de carbure d'uranium (UC_x) et les produits de réaction, très riches en neutrons, se diffusent hors de la cible grâce à un chauffage à plus de 2000°C.

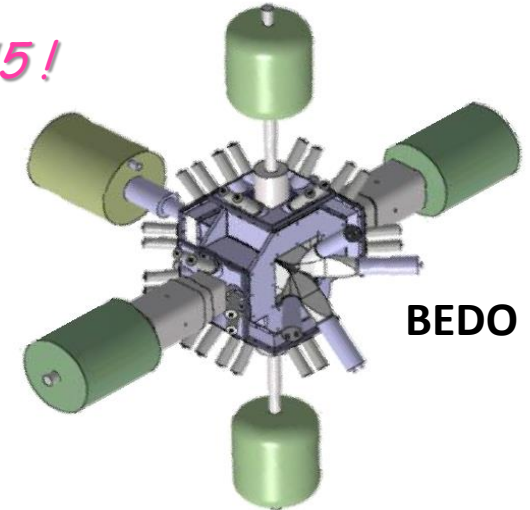
Cible d'uranium



Les «yeux» du physicien

Les noyaux exotiques ainsi produits sont étudiés grâce à des détecteurs sensibles à différents types de rayonnement.

BEDO



BEDO

- noyaux riches en neutrons
- décroissance β , structure nucléaire, Pn, T
- 5 détecteurs Ge HP + LEPS (γ)
- scintillateurs plastique (β)
- TETRA cube (détection n)

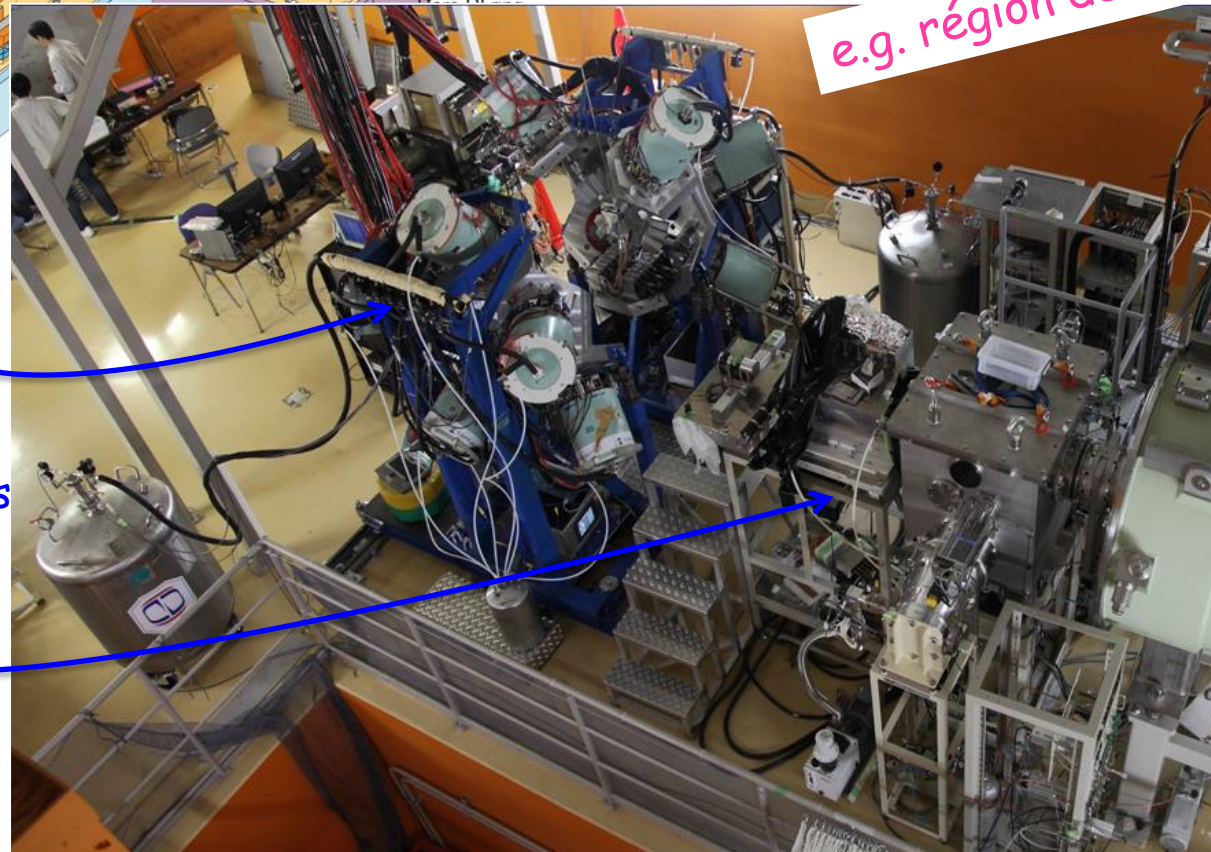
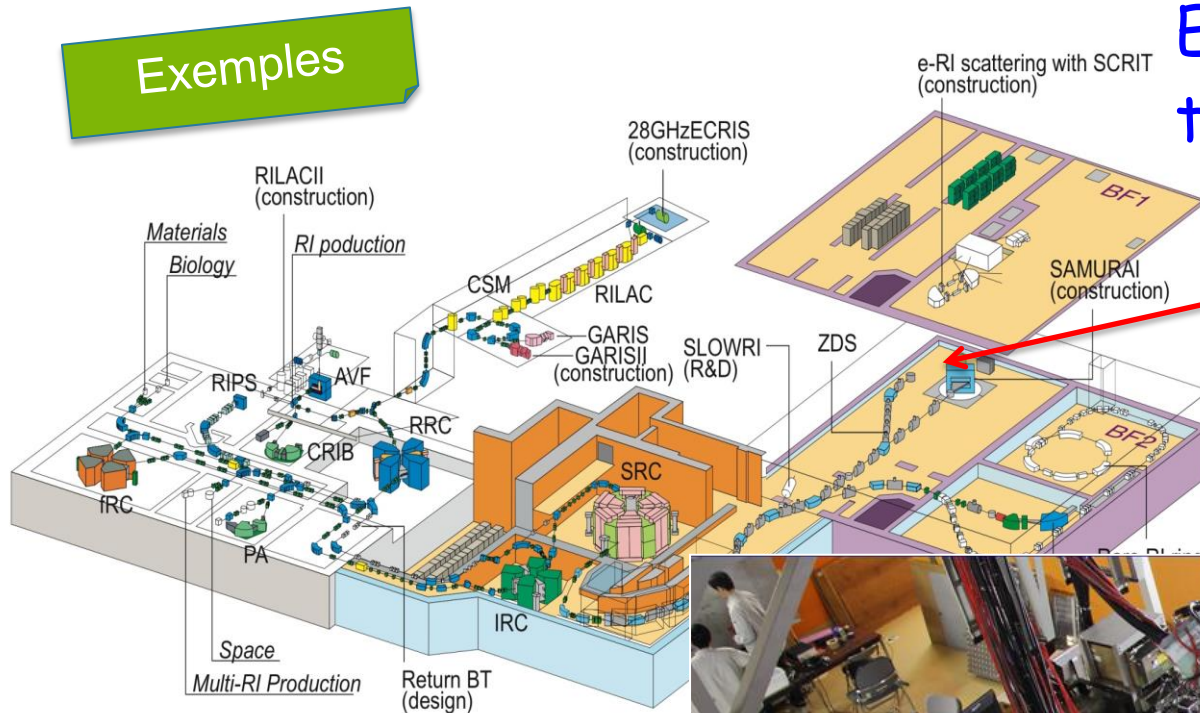
Exemples

Etudes des noyaux très riches en neutron

BigRIPS a RIKEN
ZeroDegreeSpectrometer

>10 pA, ^{238}U fission@Be
decay spectroscopy

e.g. région des Sn



decay setup:

4 π Ge Cluster detectors
LaBr3 detectors
Si DSSD implantation station
Plastics veto/validation detectors

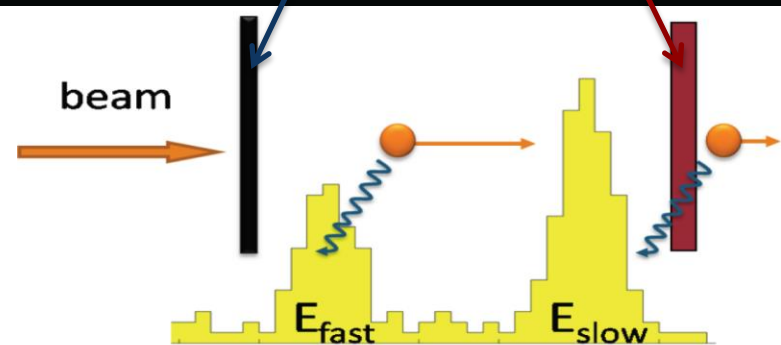
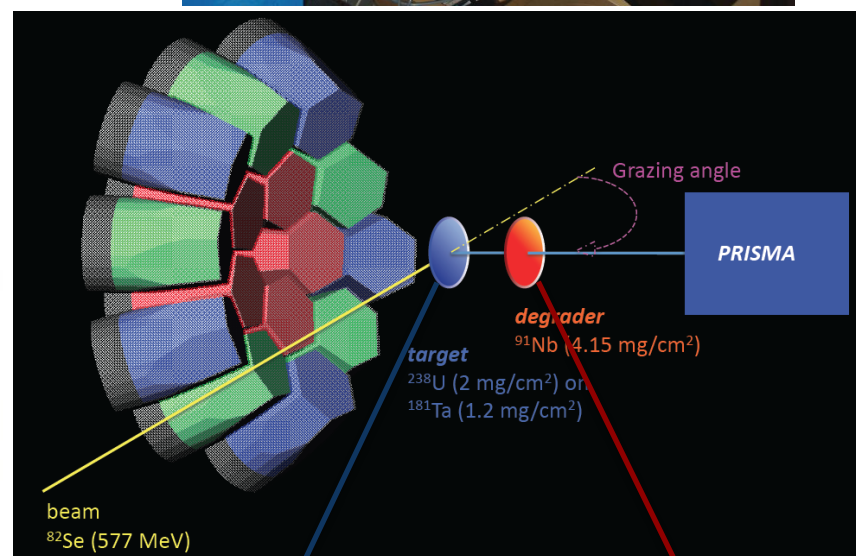
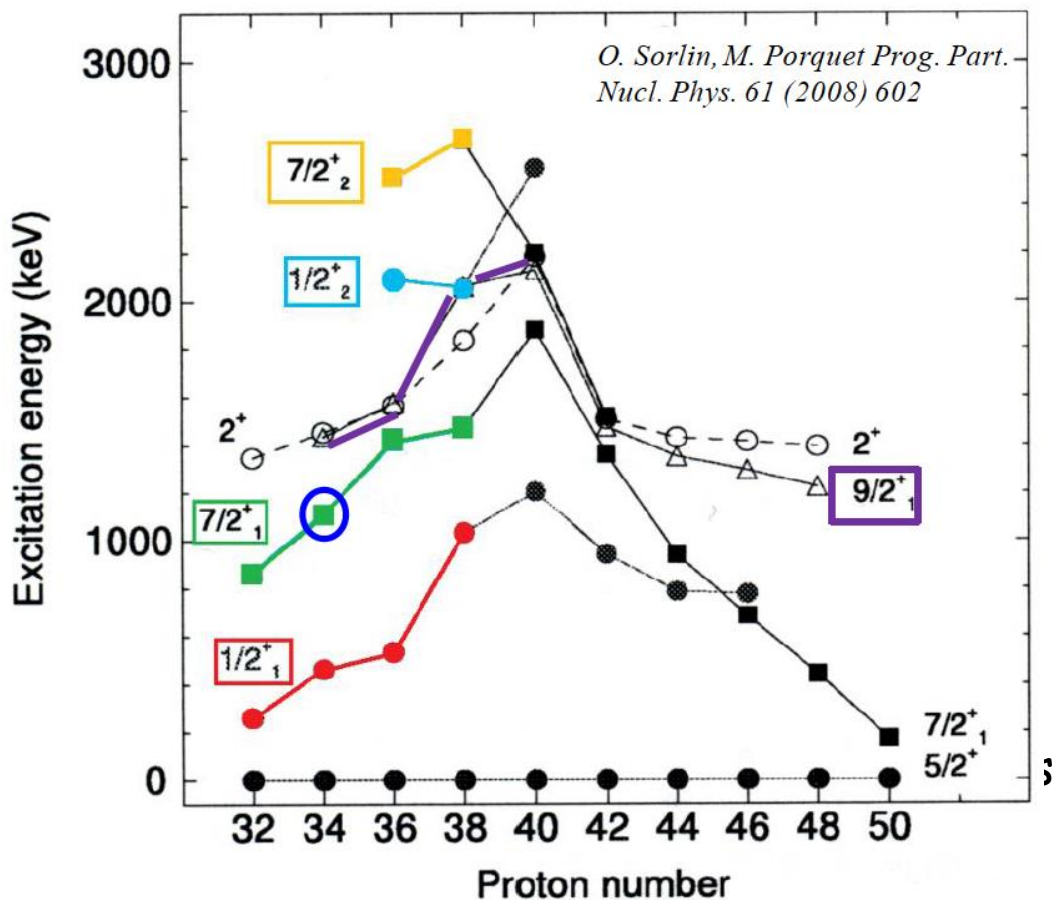
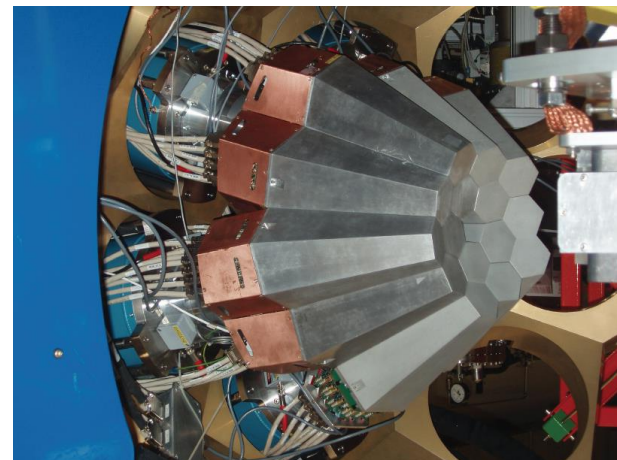
ID setup:

Variable degraders
IC (MUSICS) PPACS
TOF plastics

Spectroscopie et mesure de durées de vie avec AGATA

Exemples

- LNL (2010-2011)
- GSI (2012-2013)
- GANIL (2014-...)



components in γ -ray spectrum

Thèse en physique nucléaire expérimentale

Thèse

- Explorer les noyaux riches en neutrons
 - autour de $N=50$ ^{78}Ni (Ge, As, Se...)
 - autour de $N=82$ vers $N=90$ ^{132}Sn (Sb, Te, I...)
- Expériences auprès
 - de l'ILL à Grenoble -> fission induite par neutrons thermiques EXILL
-> continuation possible auprès de FIPPS à l'ILL
 - d'ALTO à Orsay -> décroissance β
-> continuation possible auprès de SPIRAL2 DESIR à Caen
- Calculs théoriques avec le modèle en couches
- Interprétation des données et publication scientifiques
- Préparation d'expériences auprès d'ALTO, Spiral2, ISOLDE, RIKEN ...

perspectives

perspectives

perspectives

Contactez nous pour en discuter:

gilbert.duchene@iphc.cnrs.fr

ou

radomira.lozeva@iphc.cnrs.fr

Bat 27/2 bureau 205 03 88 10 66 12

Bat 27/2 bureau 214 03 88 10 63 78

M2 en physique nucléaire expérimentale

– Explorer les noyaux riches en neutrons

- autour de $N=50$ ^{78}Ni (Ge, As, Se...) ou autour de $N=82$ (Sn, Sb, Te...)

Stage M2

– Expériences auprès

- de l'ILL à Grenoble -> fission induite par neutrons thermiques EXILL

-> continuation possible par une thèse

perspectives

– Interprétation des données

Contactez nous pour en discuter:

francois.didierjean@iphc.cnrs.fr

ou

radomira.lozeva@iphc.cnrs.fr

Bat 27/2 bureau 210 03 88 10 66 72

Bat 27/2 bureau 214 03 88 10 63 78