



# *Etude des noyaux dans la région du cœur doublement magique de $^{132}\text{Sn}$ avec le modèle en couche*

Gey Guillaume

Sous la direction de:

*Simpson Gary (LPSC)  
Köster Ulli (ILL)*

# Plan

## Introduction

- La structure nucléaire
- Cadre de l'étude

## Le Modèle en Couche Nucléaire

- Le champ moyen
- Les nombres Magiques
- Les interactions effectives

## Méthodes expérimentales

- Approche expérimentale
- Le Radioactive Ions Beam Facility (Riken)
- Premiers résultats

## Conclusion

- Perspectives

# Introduction

⚠ Noyau = édifice quantique constitué de **N nucléons** ( $3N$  quarks)

⚠ QCD perturbative:

Distances caractéristiques du problème  $\sim 1$  fm

 constante de couplage trop forte

⚠ QCD non perturbative:

nombre de quarks trop grand  puissance de calcul



***Nucléons plus petits composants!***

# Introduction

⚠ Noyau = édifice quantique constitué de **N nucléons** ( $3N$  quarks)

⚠ QCD perturbative:

Distances caractéristiques du problème  $\sim 1$  fm

➡ constante de couplage trop forte

⚠ QCD non perturbative:

nombre de quarks trop grand ➡ puissance de calcul

➡ ***Nucléons plus petits composants!***



mais.....

.....quid de l'interaction  
nucléon-nucléon?



# Introduction

☢ Aucune forme analytique exacte de cette interaction → **interactions effectives**

☢ Principal modèle de l'étude:

**Modèle en Couche Nucléaire**

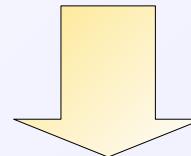
Modèle microscopique le plus prolifique et le plus unificateur

Limitation principale: puissance de calcul

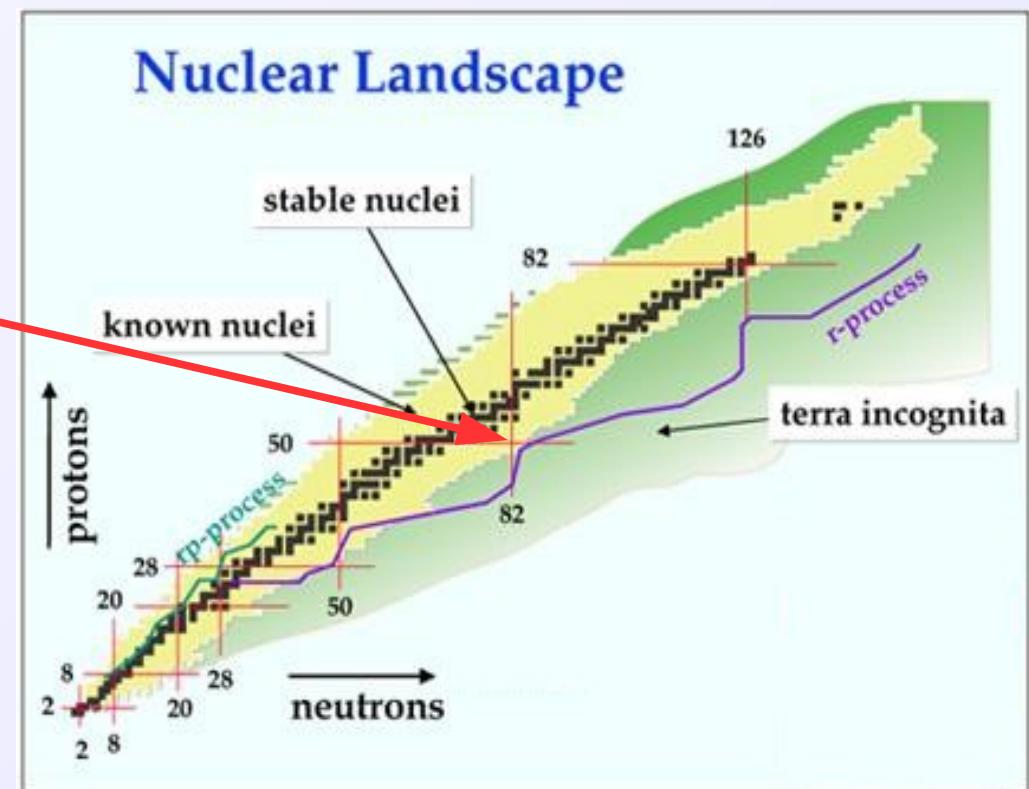
☢ Objet de cette étude:

Noyaux proches du **coeur doublement magique de  $^{132}\text{Sn}$**

Interactions nucléon-nucléon très pures



Sujets de tests très sensibles pour les interactions N-N effectives proposées



# Le Modèle en Couche Nucléaire

☢ Modèle microscopique → traitement de la structure nucléaire par ses N nucléons

☢ Hamiltonien à N corps en interaction:

$$H = \sum_{i=1}^N T_i + \underbrace{\sum_{i < j} V_{ij}}_{\text{2 corps}} + \underbrace{\sum_{i < j < k} V_{ijk}}_{\text{3 corps}} + \dots$$

# Le Modèle en Couche Nucléaire

☢ Modèle microscopique → traitement de la structure nucléaire par ses N nucleons

☢ Hamiltonien à N corps en interaction:

$$H = \sum_{i=1}^N T_i + \sum_{i < j}^N V_{ij} + \underbrace{\sum_{i < j < k}^N V_{ijk}}_{\text{3 corps}} + \dots$$

The term  $\sum_{i < j < k}^N V_{ijk}$  is crossed out with a large red X.

# Le Modèle en Couche Nucléaire

☢ Modèle microscopique → traitement de la structure nucléaire par ses N nucleons

☢ Hamiltonien à N corps en interaction:

$$H = \sum_{i=1}^N T_i + \sum_{i < j} V_{ij} + \underbrace{\sum_{i < j < k} V_{ijk}}_{\text{3 corps}} + \dots$$

Traitement numérique encore impossible (**couplages**)!



*Champ moyen*

On remplace les particules interagissant fortement entre elles par des **quasi-particules**

interagissant faiblement entre elles, mais fortement avec un potentiel extérieur  $U = \sum_{i=1}^N U_i$

☢ On introduit ce potentiel dans H, engendré par chacune des particules et minimisant V :

$$H = \sum_{i=1}^N (T_i + U_i) + \left( \sum_{i < j} V_{ij} - \sum_{i=1}^N U_i \right) = H_0 + H_{res}$$

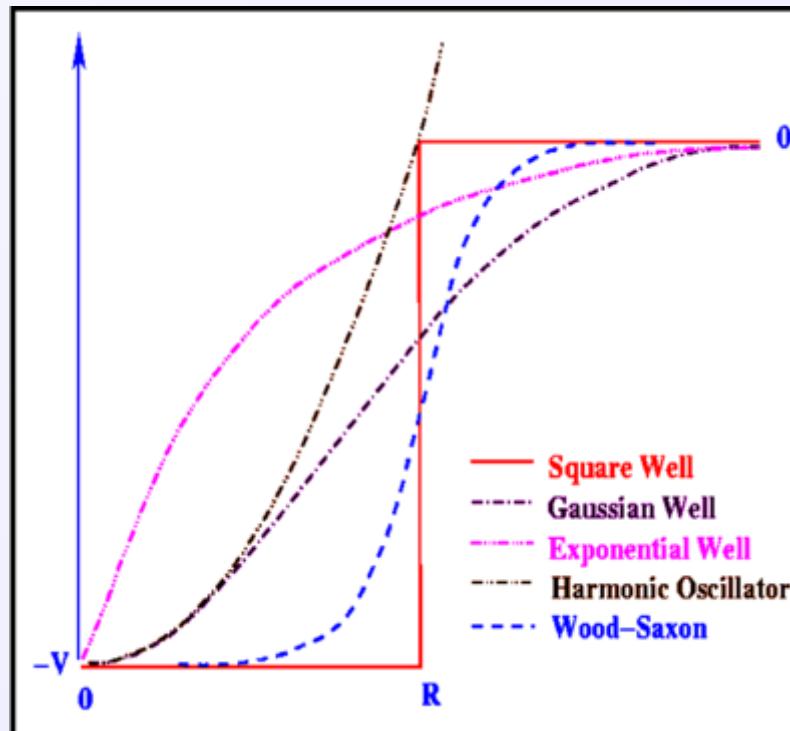
# Le Modèle en Couche Nucléaire

▣ U potentiel phénoménologique simple (Woods-Saxon, Oscillateur Harmonique + LS....) avec le cahier des charges suivant:

- minimiser V (permettre traitement perturbatif des couplages)
- traitement analytique possible de  $H_0$
- attractif à courte distance et nul à longue distance (cohésion du noyau)
- reproduire les zones de la table de noyaux pour lesquelles l'énergie de liaison varie significativement d'un noyau à l'autre)



**Nombres magiques** : nombres pour lesquels l'énergie de liaison est forte



# Le Modèle en Couche Nucléaire

## ⚠ Nombres magiques

→ réduction du nombre de particules **actives** du système

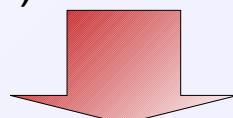
→ définition d'un **espace d'interaction** et d'un **espace inert** :

**Espace de valence et Coeur inert**

⚠ Exemple pour le cœur doublement magique de  $^{132}\text{Sn}$ :

+ Réduction du nombre de particules interagissant

+ Réduction du nombre de configurations accessibles (orbitales)



**Calculs possibles!**

—	$1\text{i}_{13/2}$	—	14	126	126
—	$3\text{p}_{1/2}$	—	2	112	
—	$2\text{f}_{5/2}$	—	6	110	
—	$3\text{p}_{3/2}$	—	4	104	
—	$2\text{f}_{7/2}$	—	8	100	
—	$1\text{h}_{9/2}$	—	10	92	

**Espace de valence des neutrons**

—	$1\text{h}_{11/2}$	—	12	82	82
—	$3\text{s}_{1/2}$	—	2	70	
—	$2\text{d}_{3/2}$	—	4	68	
—	$2\text{d}_{5/2}$	—	6	64	
—	$1\text{g}_{9/2}$	—	8	58	

**Espace de valence des protons**

—	$1\text{g}_{9/2}$	—	8	50	50
—	$2\text{p}_{1/2}$	—	2	40	
—	$1\text{f}_{5/2}$	—	6	38	
—	$2\text{p}_{3/2}$	—	4	32	
—	$1\text{f}_{7/2}$	—	8	28	28
—	$2\text{s}_{1/2}$	—	1	20	20
—	$1\text{d}_{3/2}$	—	4	16	
—	$2\text{s}_{1/2}$	—	2		
—	$1\text{d}_{5/2}$	—	6	14	
—	$1\text{p}_{1/2}$	—	2	8	8
—	$1\text{p}_{3/2}$	—	4	6	
—	$1\text{s}_{1/2}$	—	2	2	2

**Cœur magique de neutrons**



**Cœur doublement magique**



**Cœur magique de protons**

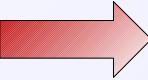
# Le Modèle en Couche Nucléaire

⚠ Maintenant qu'on a une base et un espace défini, on résout dans cet espace:

$$H_{\text{eff}} |\Psi_{ev}\rangle = E_{\text{eff}} |\Psi_{ev}\rangle$$

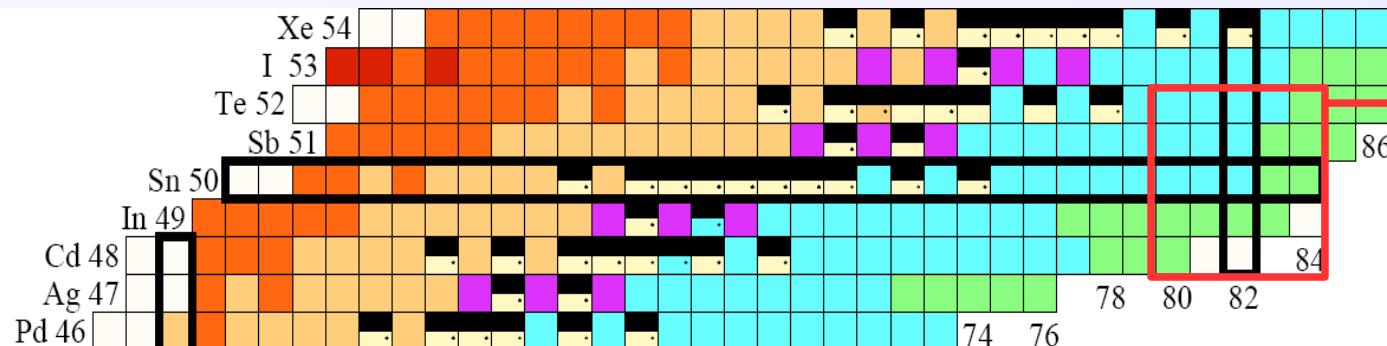
Où  $H_{\text{eff}}$  contient  $V_{\text{eff}}$  l'interaction effective utilisée

⚠ Pourquoi la région autour du cœur de  $^{132}\text{Sn}$  est un test sensible pour les interactions N-N?

1- Région très riche en neutron  difficile d'accès expérimentalement

 peu de données

 les modèles divergent



132Te	133Te	134Te	135Te	136Te
131Sb	132Sb	133Sb	134Sb	135Sb
130Sn	131Sn	132Sn	133Sn	134Sn
129In	130In	131In	132In	133In
128Cd	129Cd	130Cd	131Cd	132Cd

**Z = 50**

**N = 82**

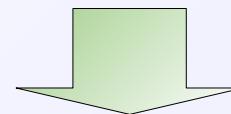
2- Coeur inerte  interactions très pures (neutron-neutron, proton-neutron etc....)

# Méthodes expérimentales

## ⚠ Comment tester ces interactions?

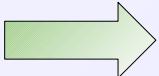
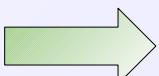
Valeurs propres de  $H_{\text{eff}}$   énergies

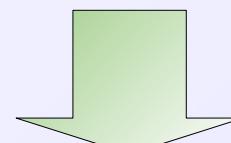
 recherche des **énergies des niveaux et des configurations nucléaires**



Production de noyaux excités dans la région d'intérêt + mesure de paramètres de désexcitation

## ⚠ Grandeurs mesurées:

- Energie des transitions (photons  $\gamma$  ou X)  énergie des niveaux
- Durée de vie des états (isomères)  mélange des configurations
- Multipolarités des transitions (électrons de conversion interne)  spin et parité des niveaux



## ⚠ Il nous faut:

1- *Système de production d'états excités*

2- *Divers systèmes de détection*

# Méthodes expérimentales (RIBF)

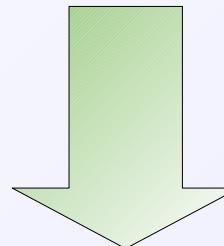
## ► Le Radioactive Ions Beam Factory RIBF (Riken)

→ délivre des faisceaux de noyaux très riches en neutrons et très purs

Production: fission induite par un projectile de  $^{238}\text{U}$  (345MeV/A) sur cible de 3mm de  $^9\text{Be}$

Problème: large gamme de noyaux produits par la fission (247 nucléons répartis en 2 noyaux + nombre variable de neutrons émis pendant et après la réaction)

→ sélection des noyaux d'intérêt



***Identification en masse atomique (A)  
et en charge nucléaire (Z)***

Technique: séparateur de masse BigRIPS



# Méthodes expérimentales (RIBF)

## ☢ Le séparateur de masse BigRIPS

### Identification en masse atomique:

Particule de charge ionique  $q$ , relativiste, de masse  $A$ , dans un champ  $\vec{B}$  :  $\frac{A}{q} = f(\vec{B}, \vec{v})$

- en imposant  $\vec{B}$  et en mesurant  $\vec{v}$ , on peut séparer nos fragments selon  $A/q$
- mesure de  $\vec{v}$  avec scintillateurs plastiques disposés sur la ligne (temps de vol)

### Identification en charge nucléaire:

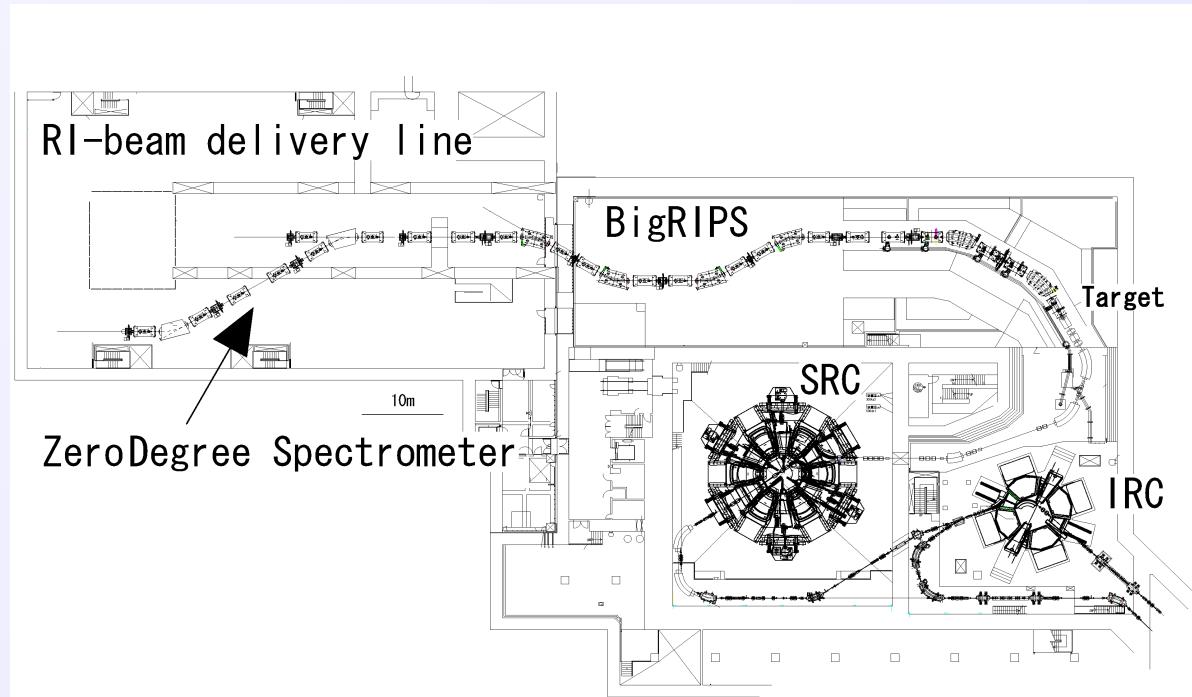
Formule de Bethe:  $\frac{dE}{dx} = f(Z, v)$

- mesure de dépôt d'énergie dans chambre d'ionisation
- identification en  $Z$

### Levée des dégénérescences $A/q$ :

Matériaux sur parcours des noyaux

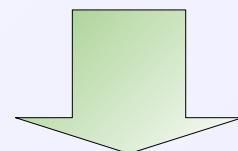
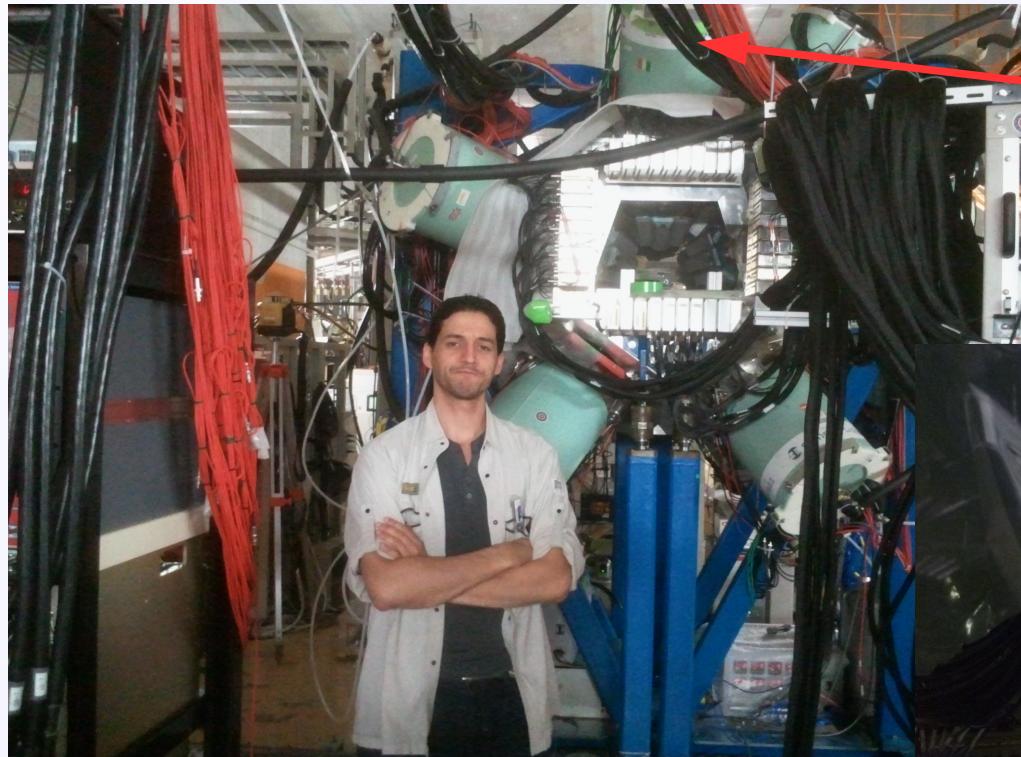
- arrache les électrons → on constraint  $q = Z$



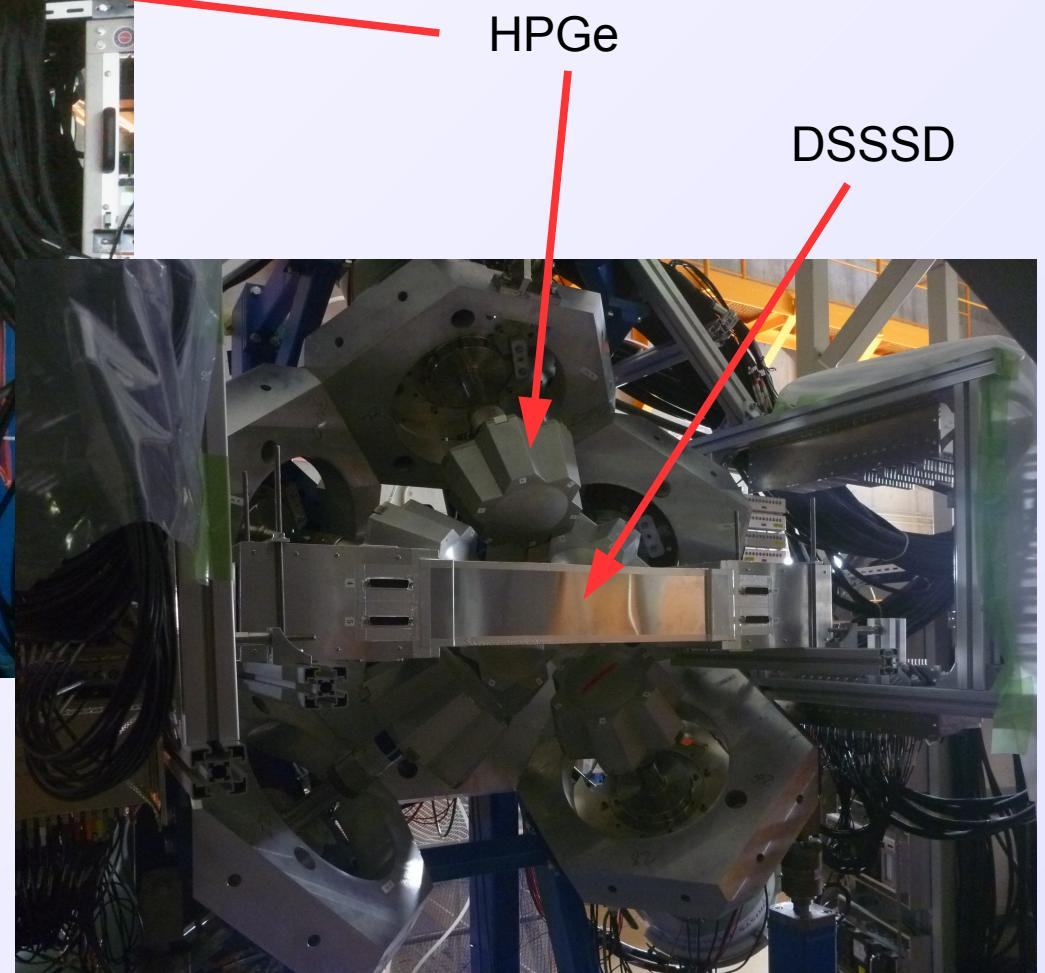
# Méthodes expérimentales (RIBF)

⚠ Séparation + identification des sujets d'étude ✓, et maintenant?

→ arrêt des ions dans un détecteur sensible à la position (DSSSD) entouré de détecteurs à Haute Pureté en Germanium (HPGe) pour la détection des photons  $\gamma$



**Spectroscopie  $\gamma$  seulement!**



# Méthodes expérimentales (RIBF)

## Trigger

Détection d'un ion (DSSSDs)  commence acquisition des HPGe (photons)

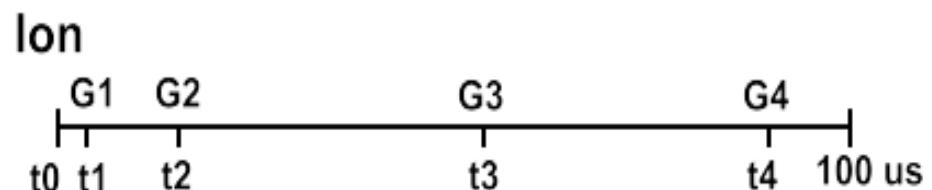
Fenêtre en temps de l'acquisition des photons:  $\sim 100 \mu\text{s}$

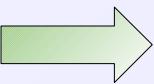
Fréquence de production:  $\sim 50$  ions/s (1 ion toutes les 20 ms)  peu d'empilement

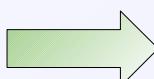
Efficacité absolue détection Photon:

$\sim 25\%$  à 120 keV à  $\sim 10\%$  à 1 MeV

Résolution:  $\sim 3$  keV pour 1,3 MeV



Temps de vol des ions entre production et arrêt   $\sim 500$  ns

 études possibles:

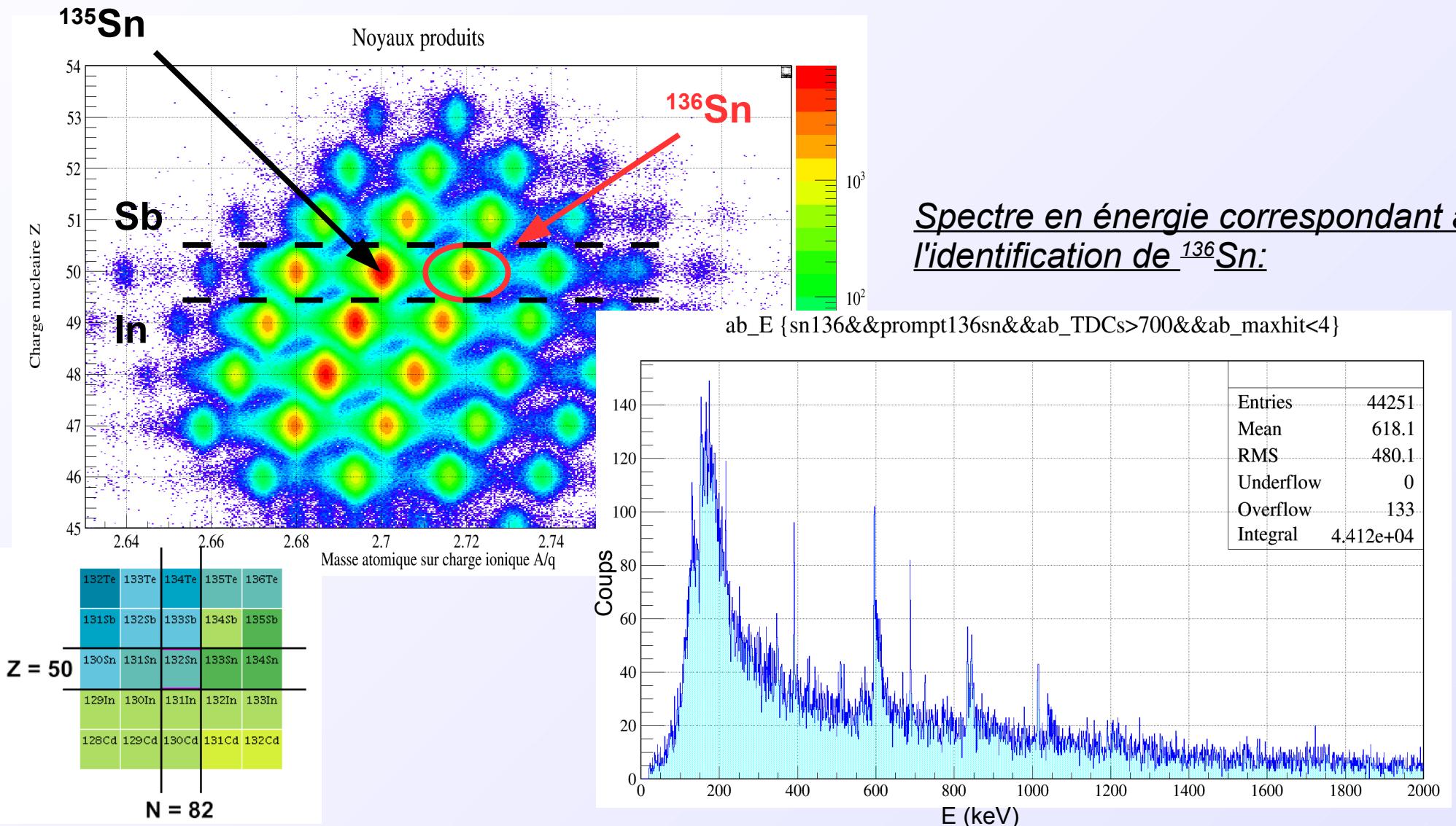
**Isomères  
Décroissances  $\beta$**

Structure des événements différentes pour l'étude des décroissances  $\beta$  (à venir)

# Méthodes expérimentales (RIBF)

## Analyse

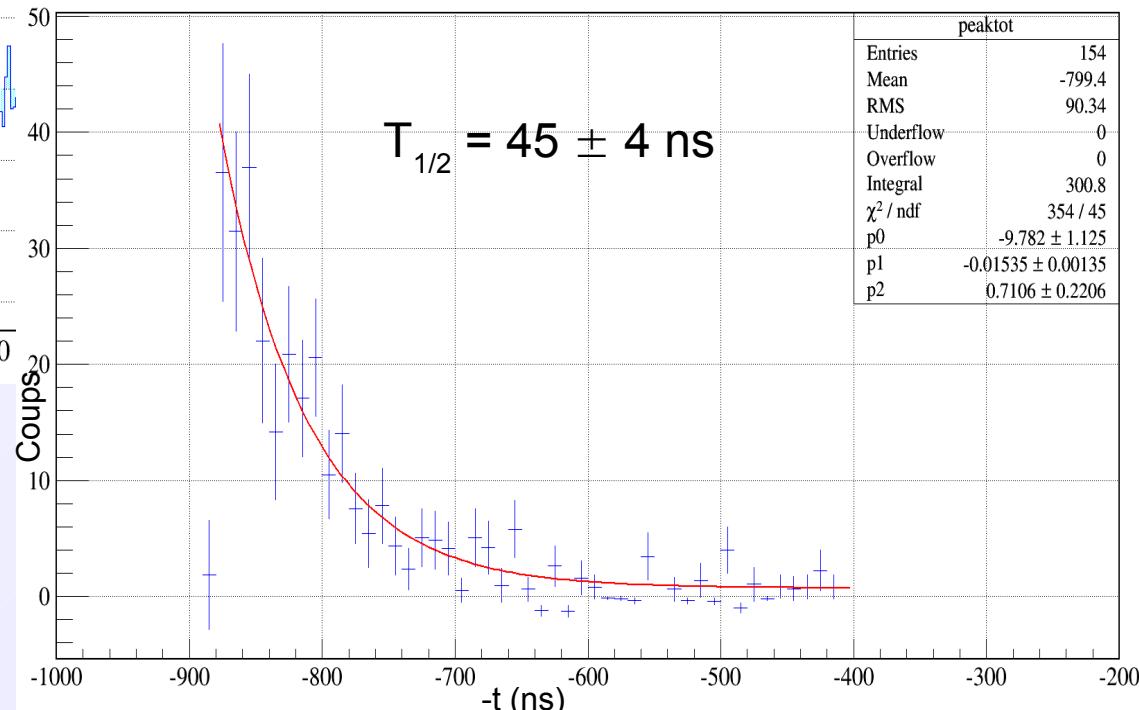
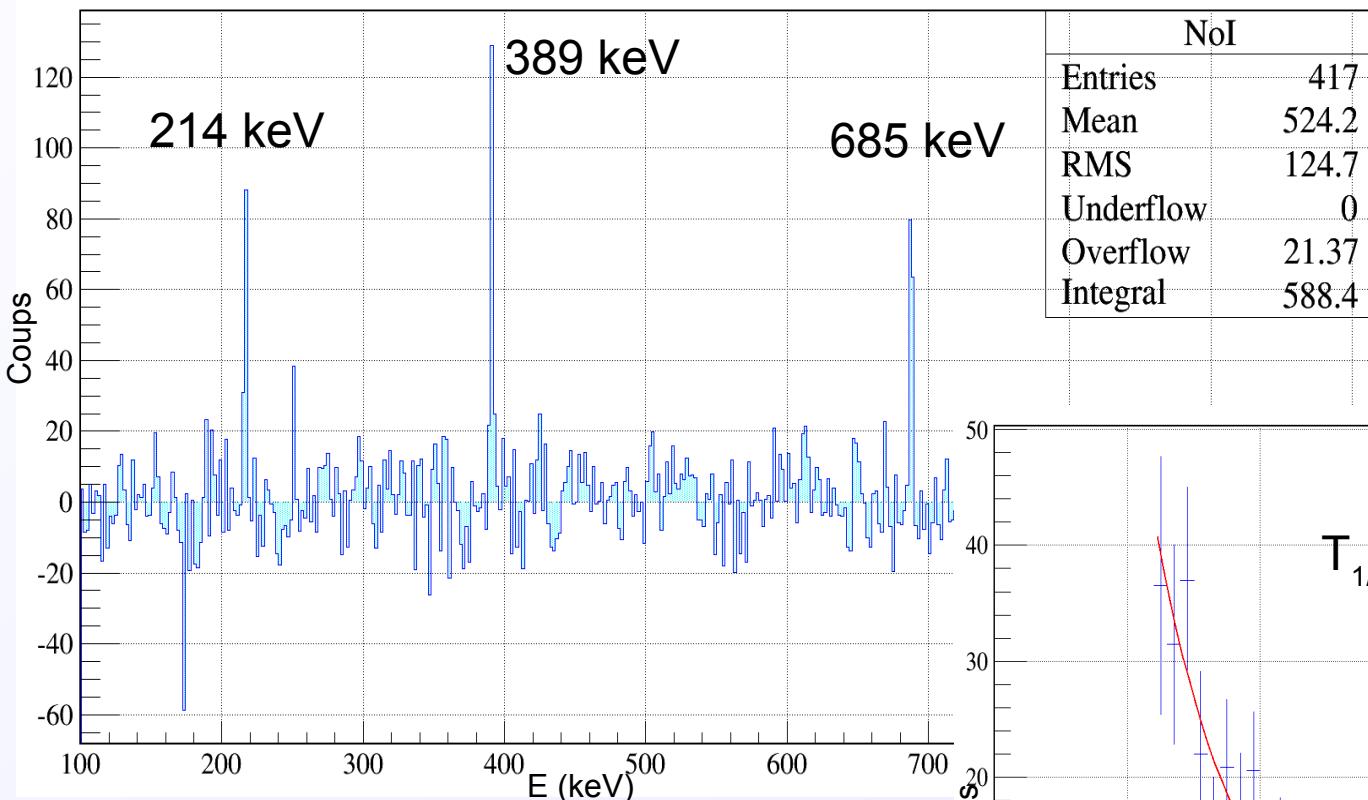
→ sélection des noyaux d'intérêts, puis applications de divers critères pour clarifier les spectres en énergie ou en temps obtenus



# Méthodes expérimentales (RIBF)

## ⚠ 1ère observation d'états excités du $^{136}\text{Sn}$

Spectre en énergie du  $^{136}\text{Sn}$ :



Recherche d'un isomère



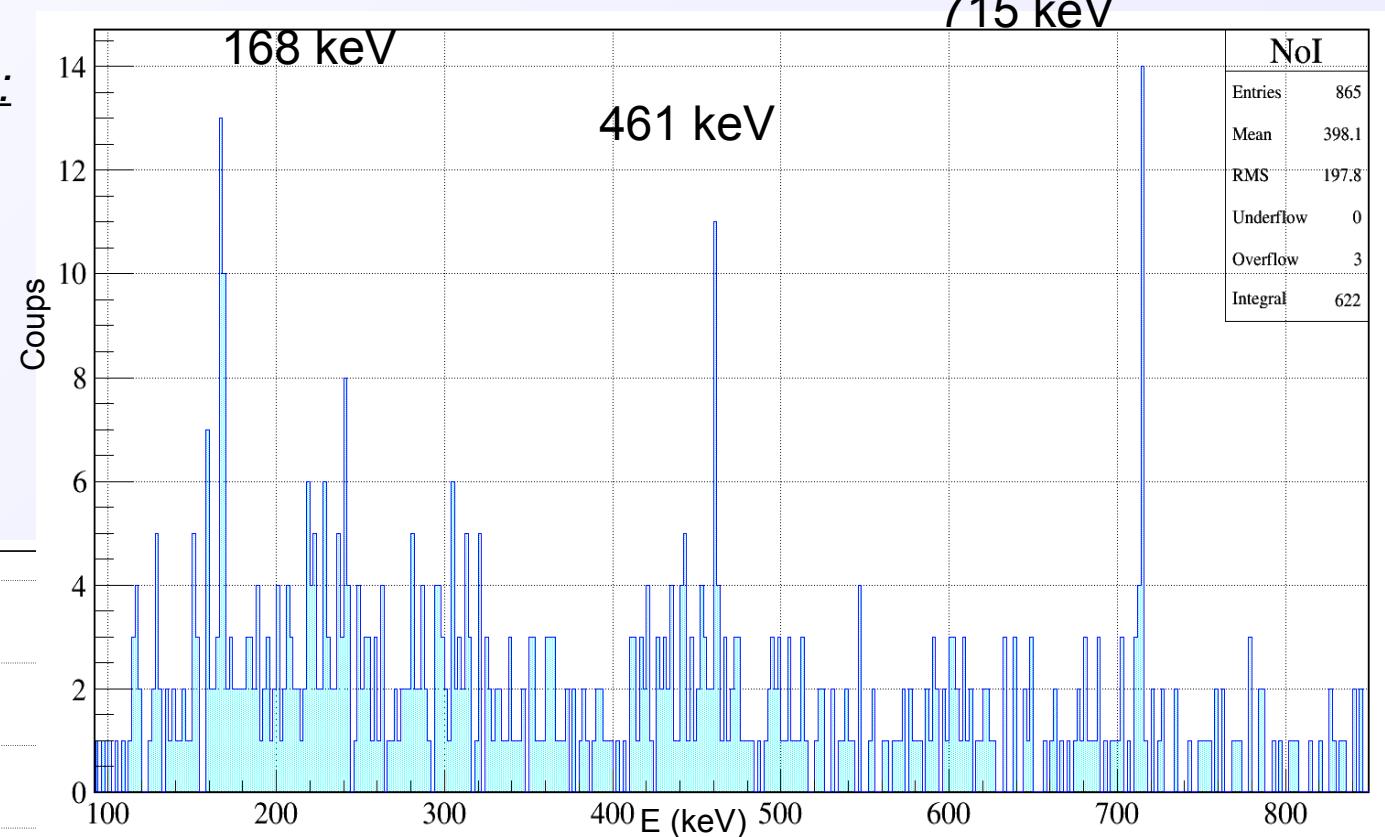
distribution en temps  
des événements  $\gamma$  à  
214, 389 et 685 keV



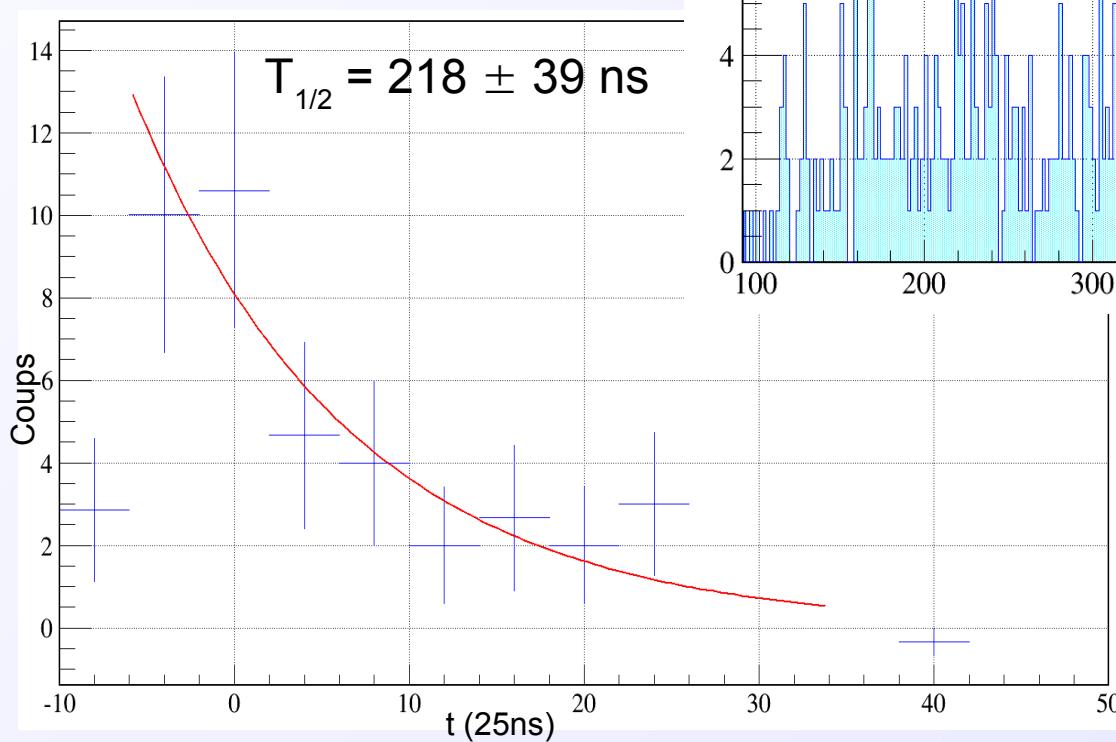
# Méthodes expérimentales (RIBF)

## ⚠ 1ère observation d'états excités du $^{138}\text{Sn}$

Spectre en énergie du  $^{138}\text{Sn}$ :



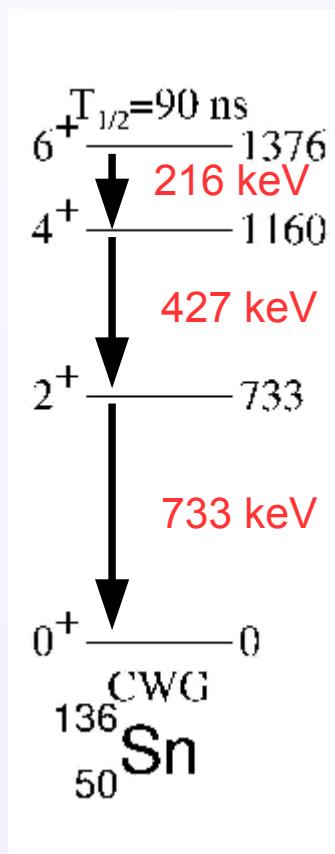
Distribution en temps des énergies:



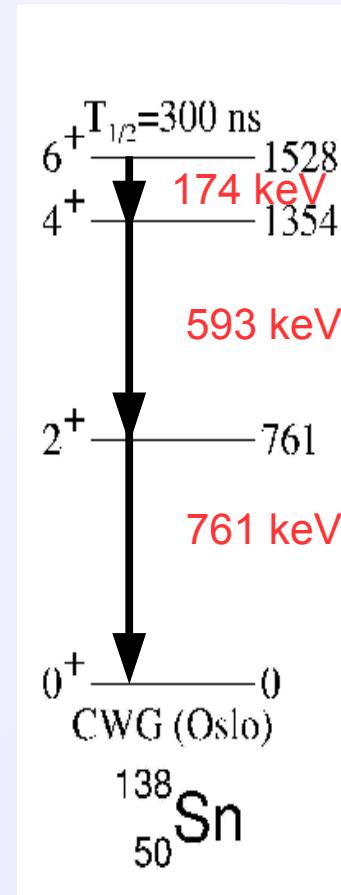
# Méthodes expérimentales (RIBF)

## ⚠ Comparaison avec calcul (potentiel CD-Bonn)

Potentiel nucléon-nucléon libre, pas d'interactions à 3 corps



expérience: 214, 389 et  $685 \pm 1 \text{ keV}$   
isomère à  $T_{1/2} = 45 \pm 4 \text{ ns}$



expérience: 168, 461 et  $715 \pm 1 \text{ keV}$   
isomère à  $T_{1/2} = 218 \pm 39 \text{ ns}$

# Conclusion

## ► Conclusion

- 1- L'interaction neutron-neutron semble ne pas changer à très haut rapport neutrons/protons
- 2- L'interaction à 3 corps ne semble pas jouer de rôle majeur dans la région du  $^{132}\text{Sn}$

## ► Perspectives

- 1- Etude des Sb ( $Z = 51$ ) à partir des désintégrations  $\beta^-$  des Sn
  - évolution de l'interaction proton-neutron dans cette région partie de l'interaction N-N la plus difficile à reproduire)
- 2- Etude des durées de vies des isomères des In ( $Z = 49$ ) à l'ILL (spectromètre de masse Lohengrin)
  - étude de l'interaction proton(trou)-neutron(trou ou particule)

$^{132}\text{Te}$	$^{133}\text{Te}$	$^{134}\text{Te}$	$^{135}\text{Te}$	$^{136}\text{Te}$
$^{131}\text{Sb}$	$^{132}\text{Sb}$	$^{133}\text{Sb}$	$^{134}\text{Sb}$	$^{135}\text{Sb}$
$^{130}\text{Sn}$	$^{131}\text{Sn}$	$^{132}\text{Sn}$	$^{133}\text{Sn}$	$^{134}\text{Sn}$
$^{129}\text{In}$	$^{130}\text{In}$	$^{131}\text{In}$	$^{132}\text{In}$	$^{133}\text{In}$
$^{128}\text{Cd}$	$^{129}\text{Cd}$	$^{130}\text{Cd}$	$^{131}\text{Cd}$	$^{132}\text{Cd}$

$Z = 50$

$N = 82$

**Merci de votre attention!**