



# ***Etude des noyaux dans la région du coeur 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**

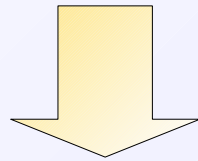
Modèle microscopique le plus prolifique et le plus unificateur

Limitation principale: puissance de calcul

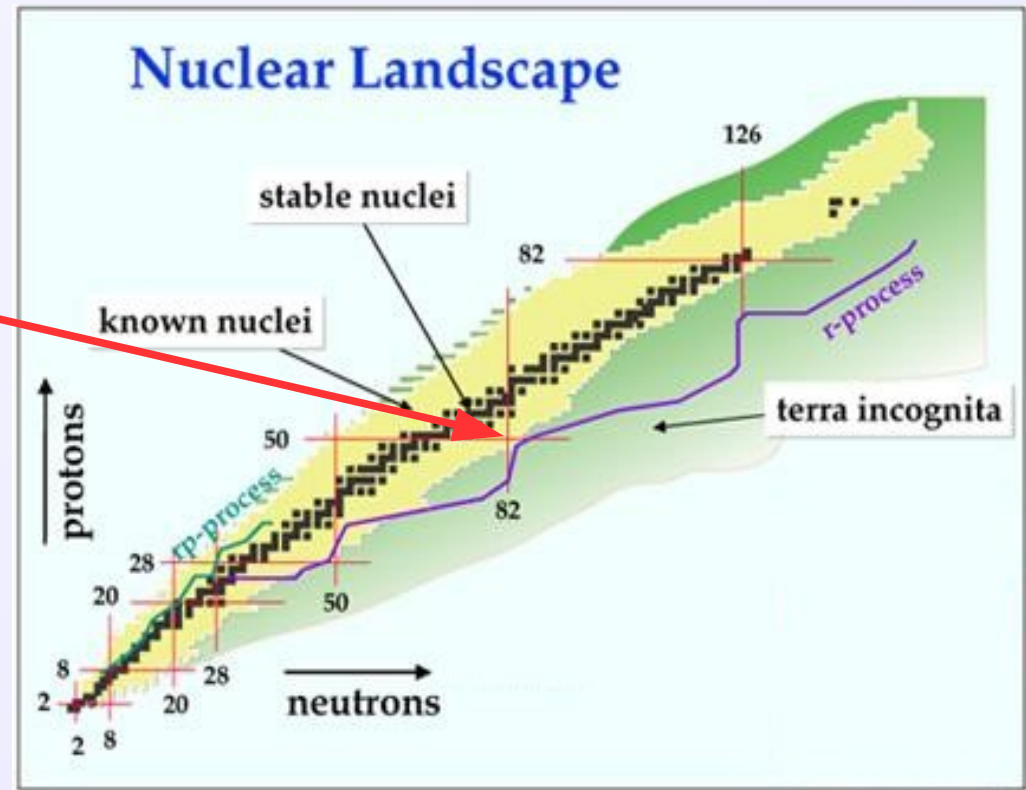
☢ Objet de cette étude:

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

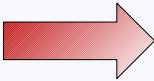
Interactions nucléon-nucléon très pures



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



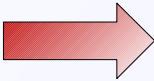
# Le Modèle en Couche Nucléaire

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

☢ Hamiltonien à N corps en interaction:

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

# Le Modèle en Couche Nucléaire

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

☢ Hamiltonien à N corps en interaction:

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



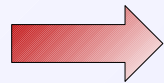
# Le Modèle en Couche Nucléaire

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

☢ Hamiltonien à N corps en interaction:

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

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 :

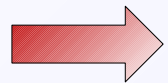
$$H = \sum_{i=1}^N (T_i + U_i) + \left( \sum_{i < j}^N V_{ij} - \sum_{i=1}^N U_i \right) = H_0 + H_{res}$$



# Le Modèle en Couche Nucléaire

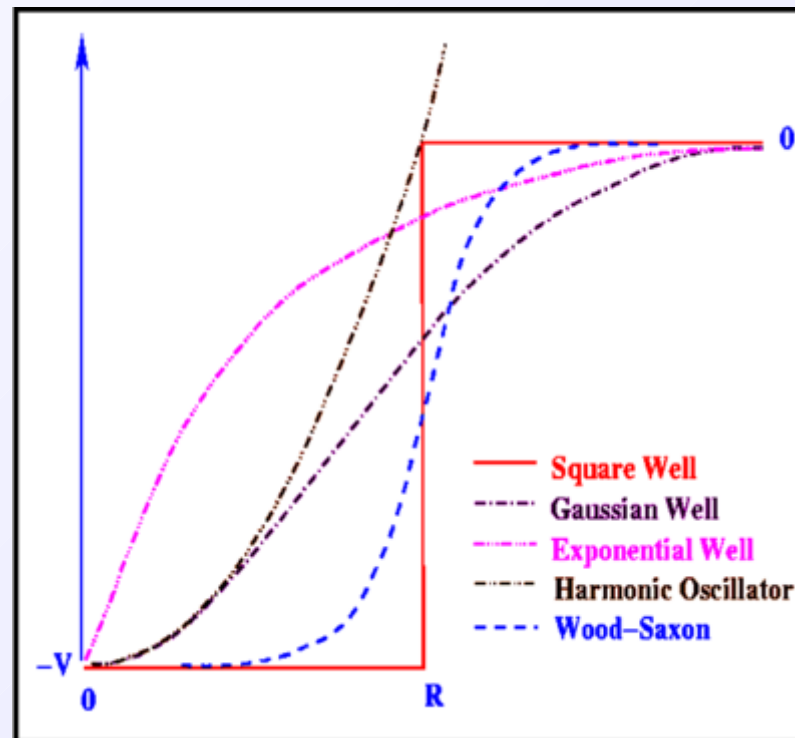
☢ U potentiel phénoménologique simple (Woods-Saxon, Oscillateur Harmonique + LS..... ) avec le cahier des charges suivant:

- 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

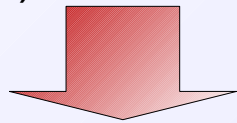
## ☢ Nombres magiques

- ➡ réduction du nombre de particules **actives** du système
- ➡ définition d'un **espace d'interaction** et d'un **espace inerte** :

*Espace de valence et  
Coeur inerte*

## ☢ Exemple pour le coeur doublement magique de $^{132}\text{Sn}$ :

- + Réduction du nombre de particules interagissant
- + Réduction du nombre de configurations accessibles (orbitales)



*Calculs possibles!*

—	1i <sub>13/2</sub>	—	14	126	126
—	2f <sub>5/2</sub>	3p <sub>1/2</sub>	—	2	112
—		3p <sub>3/2</sub>	—	6	110
—			—	4	104
—	2f <sub>7/2</sub>		—	8	100
—		1h <sub>9/2</sub>	—	10	92

*Espace de valence des  
neutrons*

—		1h <sub>11/2</sub>	—	12	82	82
—	3s <sub>1/2</sub>		—	2	70	
—		2d <sub>3/2</sub>	—	4	68	
—		2d <sub>5/2</sub>	—	6	64	
—	1g <sub>7/2</sub>		—	8	58	

*Espace de valence des  
protons*

—	1g <sub>9/2</sub>		—	8	50	50
—		2p <sub>1/2</sub>	—	2	40	
—	1f <sub>5/2</sub>		—	6	38	
—		2p <sub>3/2</sub>	—	4	32	
—	1f <sub>7/2</sub>		—	8	28	28
—		1d <sub>3/2</sub>	—	4	20	20
—	2s <sub>1/2</sub>		—	2	16	
—		1d <sub>5/2</sub>	—	6	14	
—	1p <sub>1/2</sub>		—	2	8	8
—		1p <sub>3/2</sub>	—	4	6	
—	1s <sub>1/2</sub>		—	2	2	2

*Coeur magique de neutrons*



*Coeur doublement magique*



*Coeur magique de protons*

# Le Modèle en Couche Nucléaire

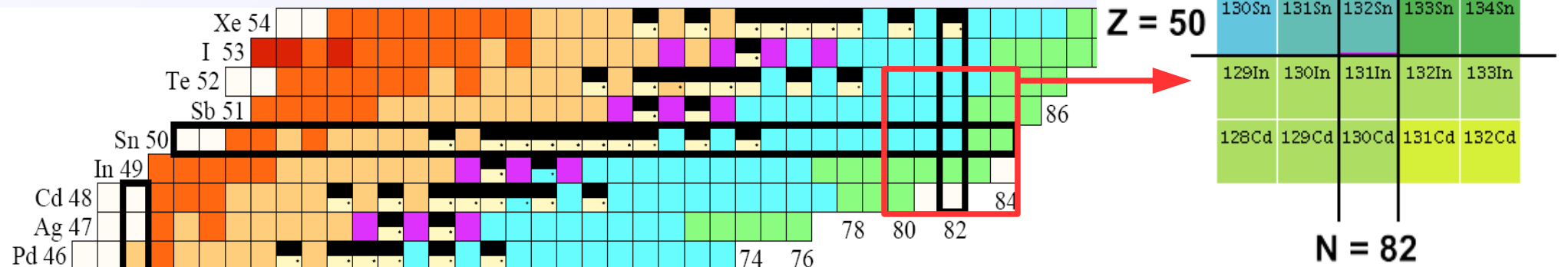
☢ Maintenant qu'on a une base et un espace défini, on résout dans cet espace:

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

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

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


- 1- Région très riche en neutron  $\longrightarrow$  difficile d'accès expérimentalement
- $\longrightarrow$  peu de données
- $\longrightarrow$  les modèles divergent



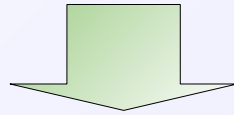
- 2- Coeur inerte  $\longrightarrow$  interactions très pures (neutron-neutron, proton-neutron etc....)

# Méthodes expérimentales

## Comment tester ces interactions?




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

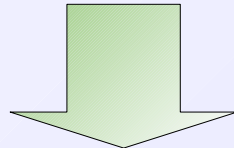
 recherche des **énergies des niveaux** et des **configurations nucléaires**



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)

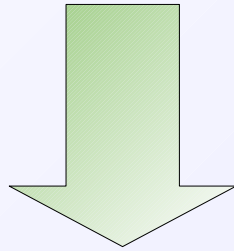
## Le Radioactive Ions Beam Factory RIBF (Riken)

➡ 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:  $\frac{dE}{dx} = f(Z, v)$

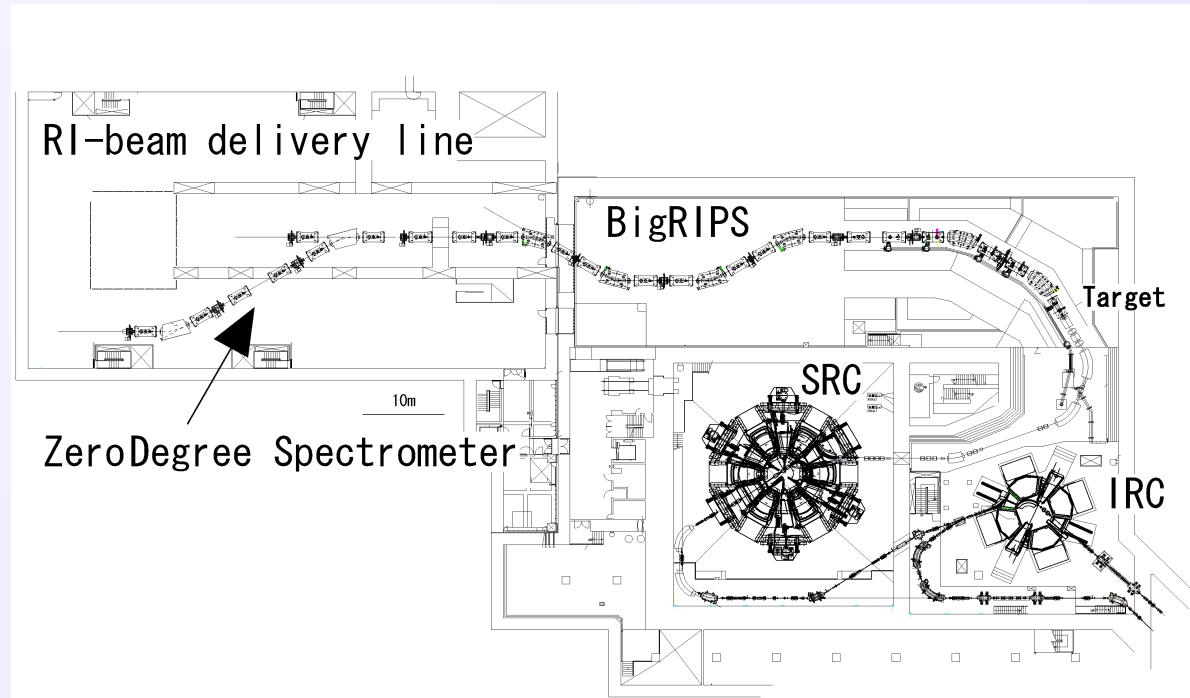
➡ mesure de dépôt d'énergie dans chambre d'ionisation

➡ identification en  $Z$

### Levée des dégénérescences $A/q$ :

Matériaux sur parcours des noyaux

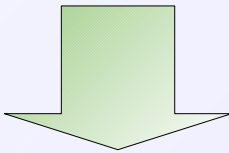
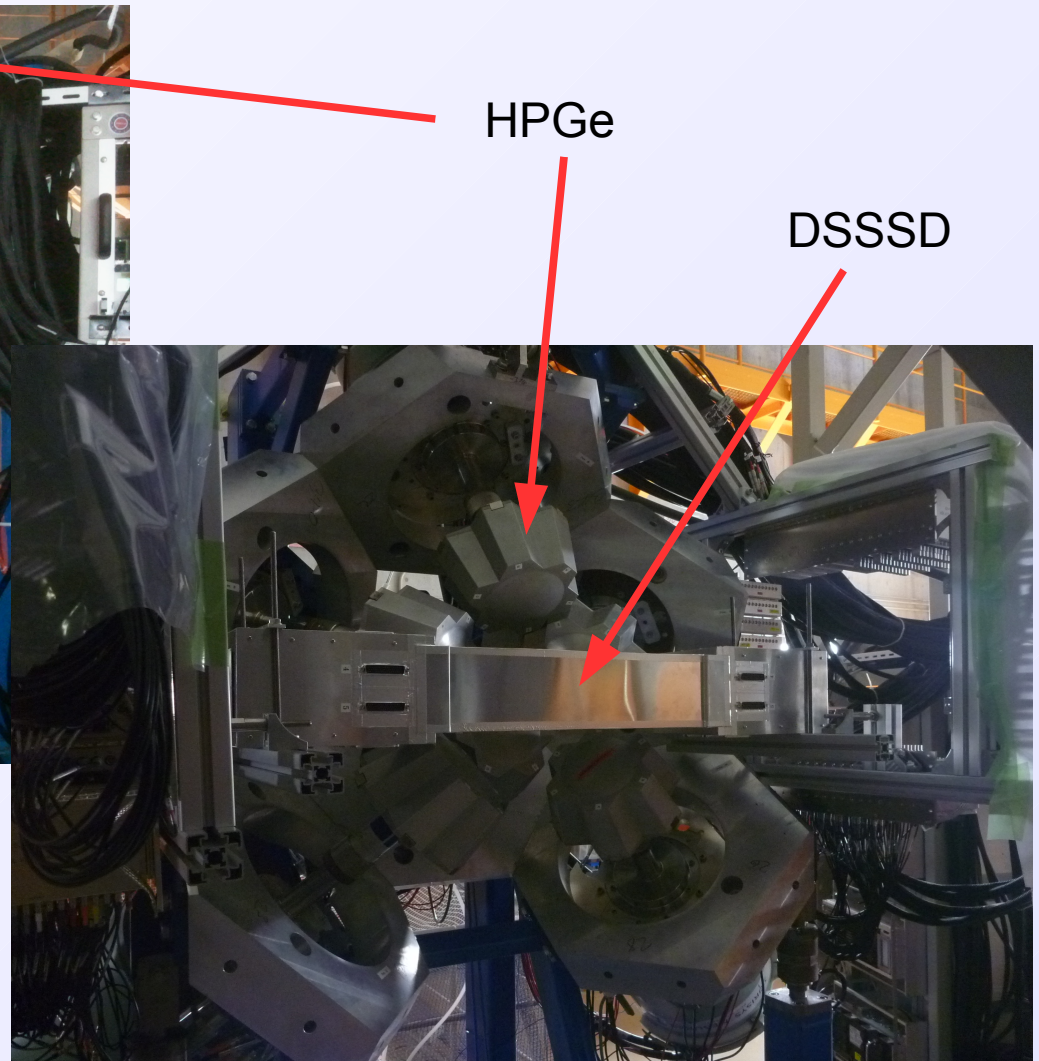
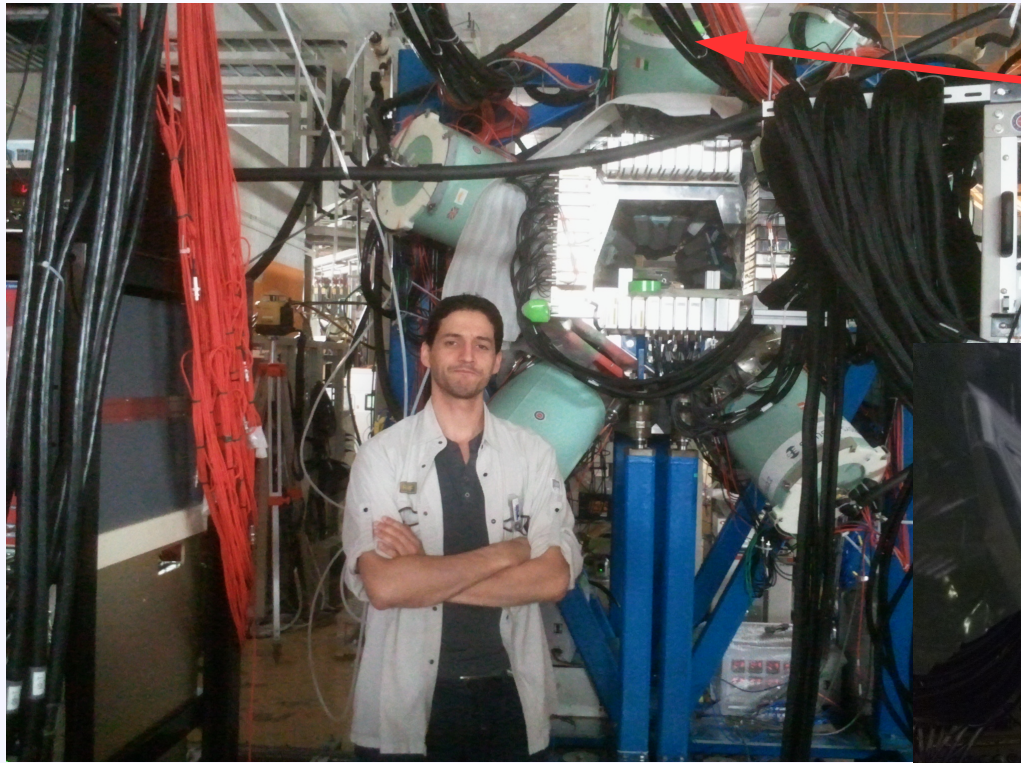
➡ arrache les électrons ➡ on contraint  $q = Z$



# 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)

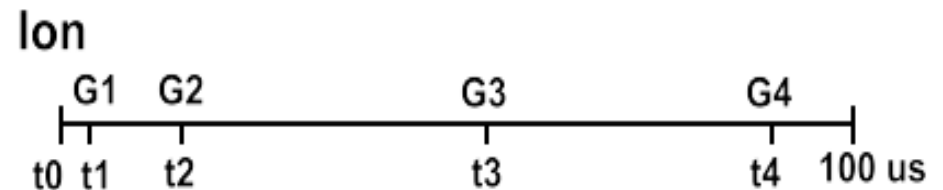
Fenêtre en temps de l'acquisition des photons:  $\sim 100 \mu\text{s}$

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:

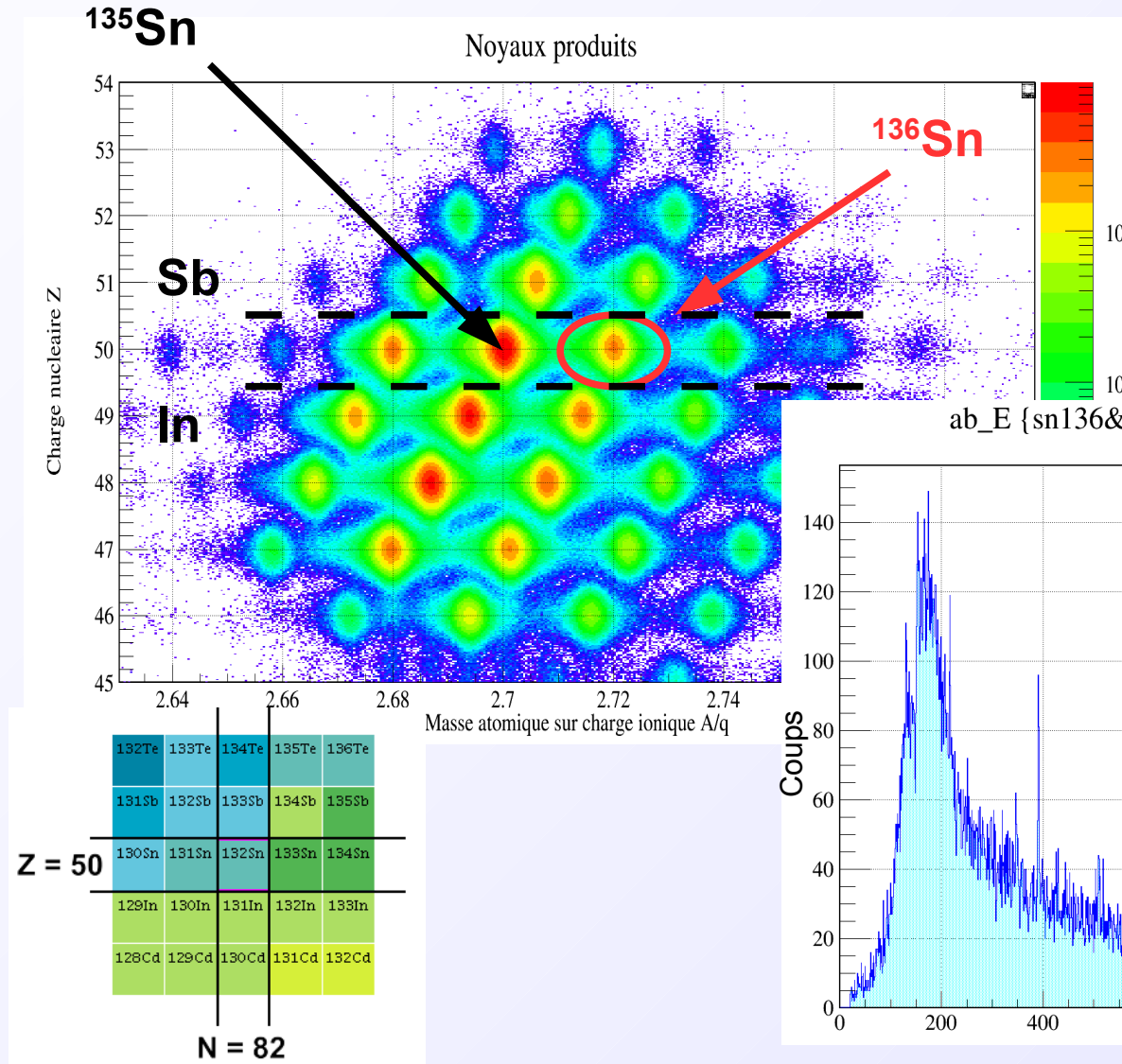
***Isomères  
Décroissances  $\beta$***

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

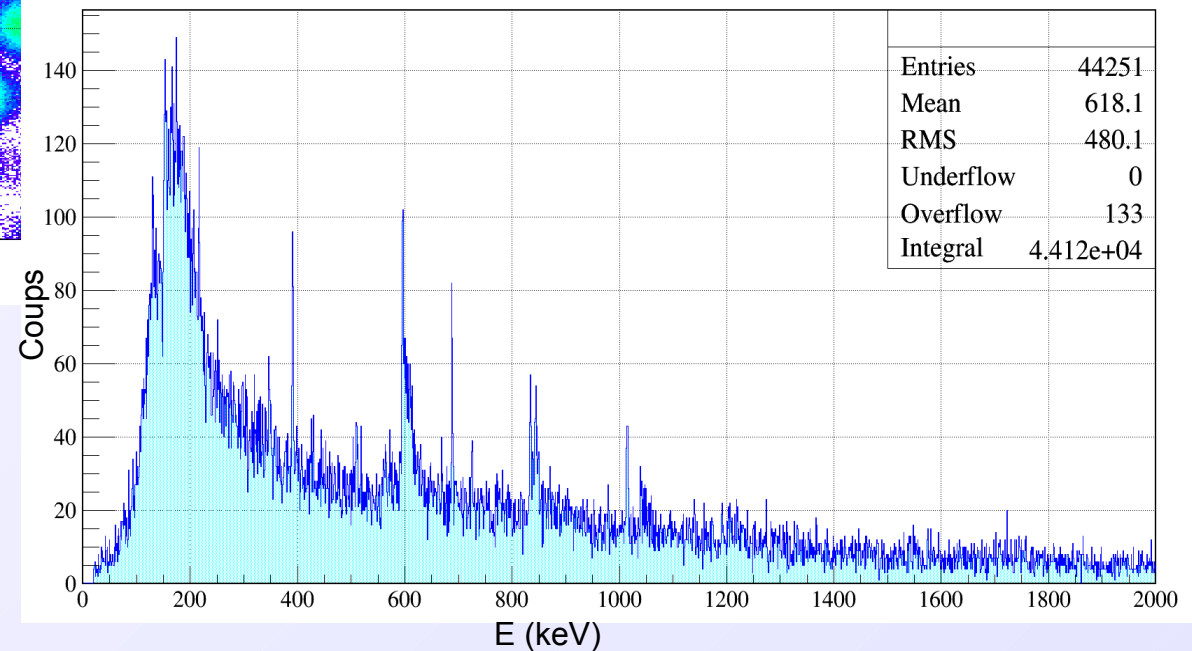
# Méthodes expérimentales (RIBF)

## Analyse

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



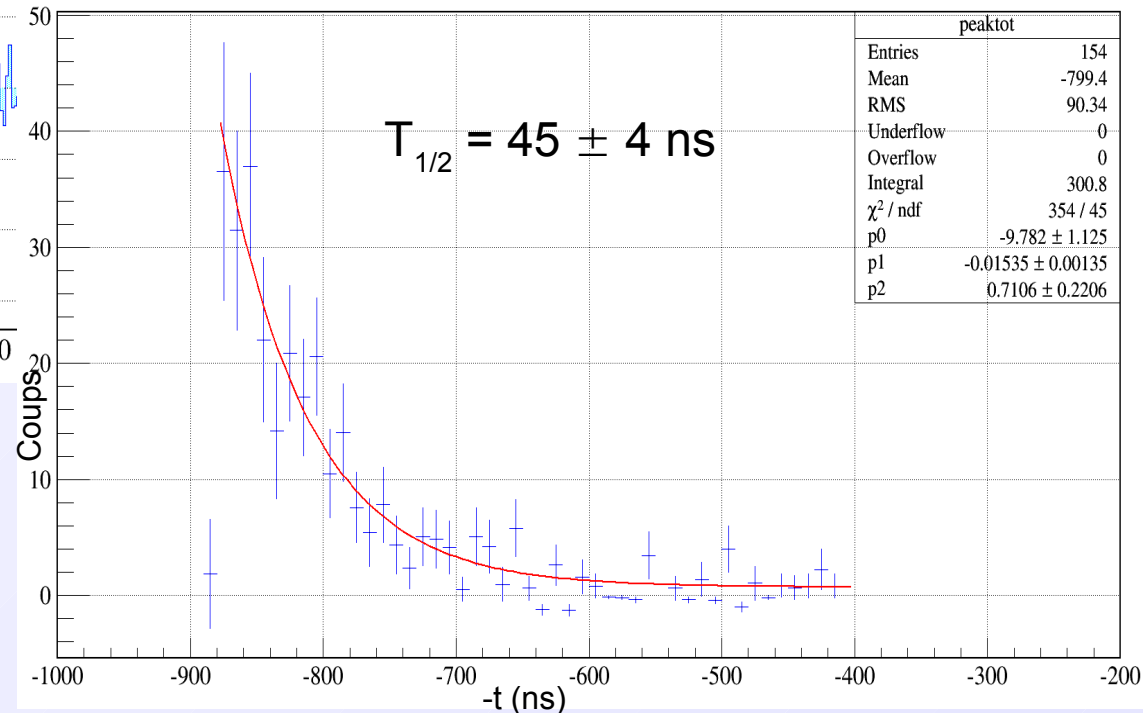
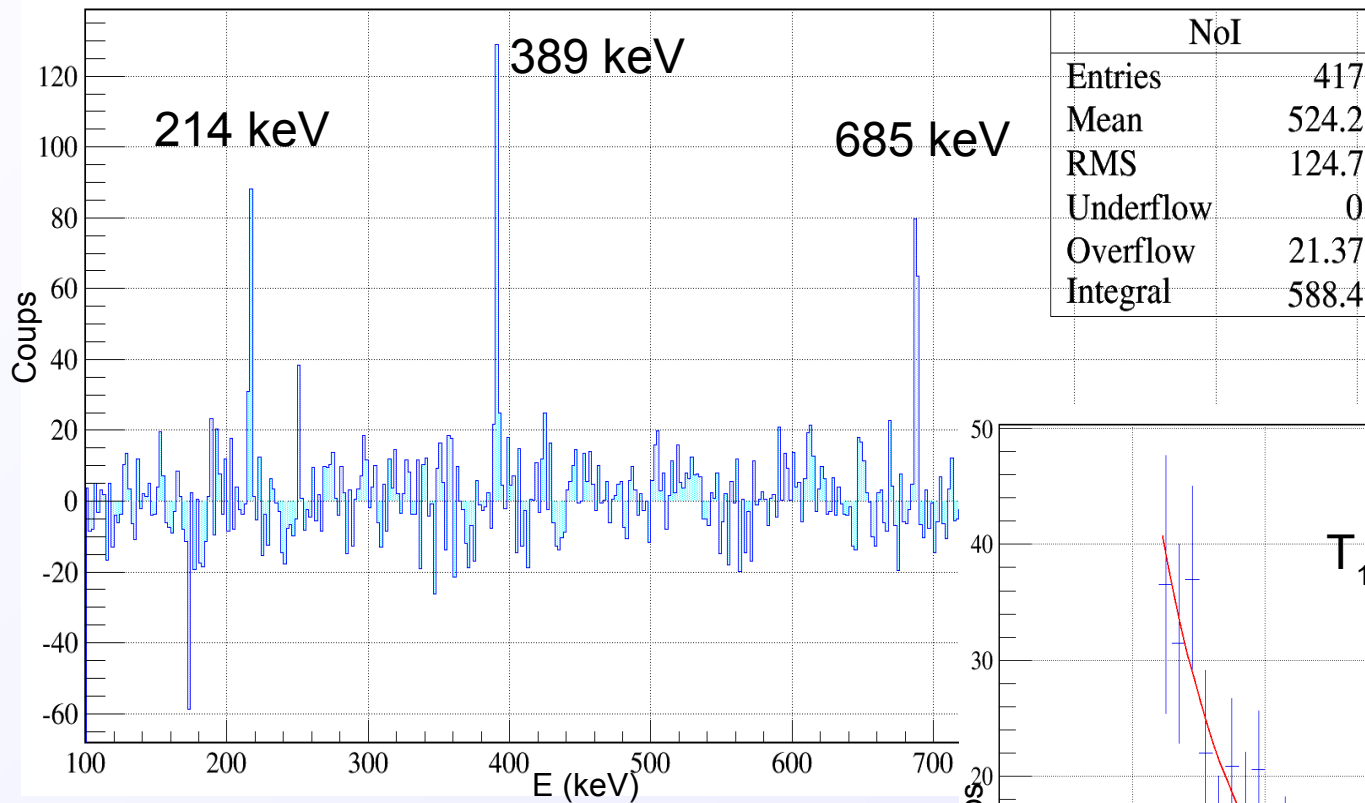
Spectre en énergie correspondant à l'identification de  $^{136}\text{Sn}$ :



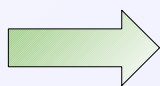
# Méthodes expérimentales (RIBF)

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

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



Recherche d'un isomère



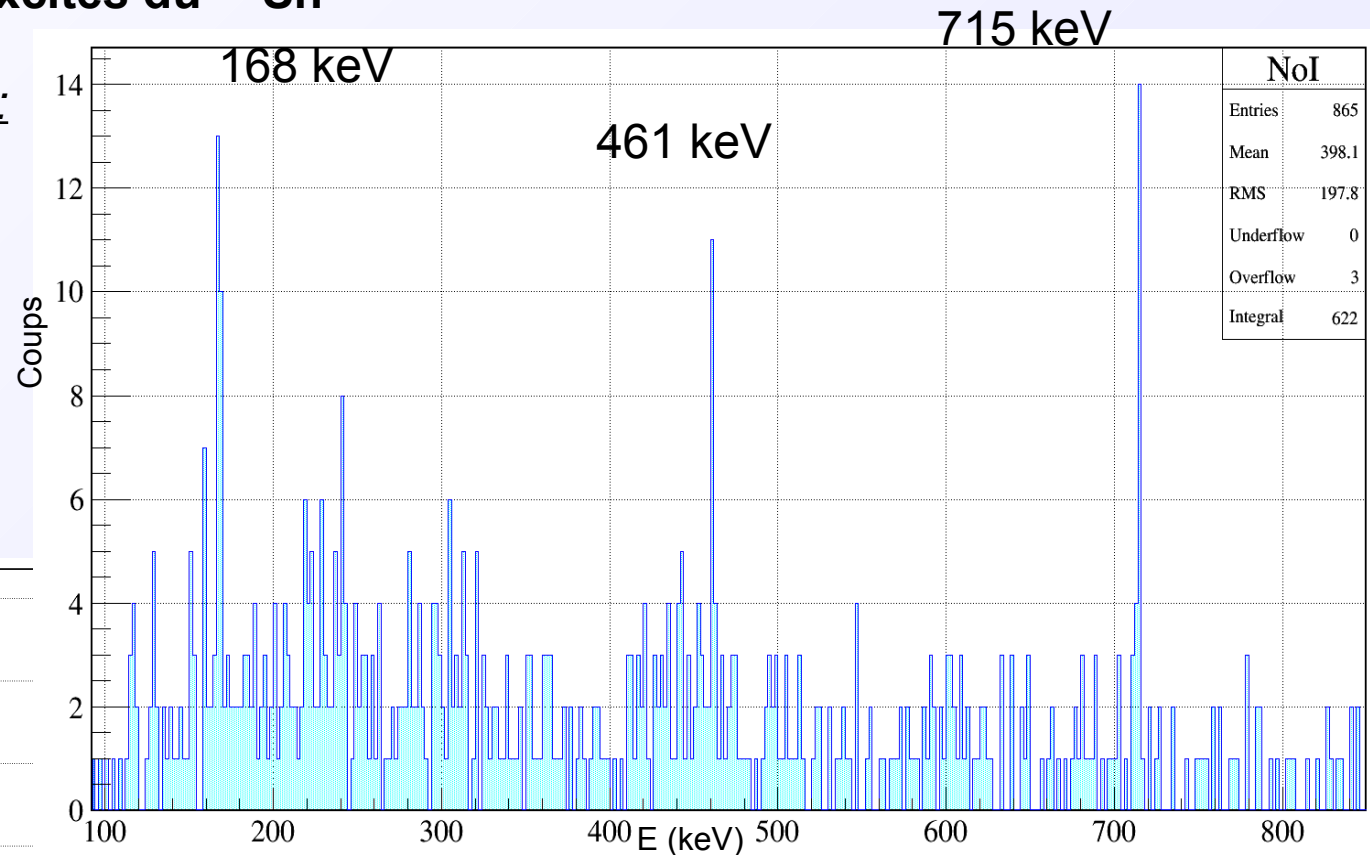
distribution en temps  
des événements  $\gamma$  à  
214, 389 et 685 keV



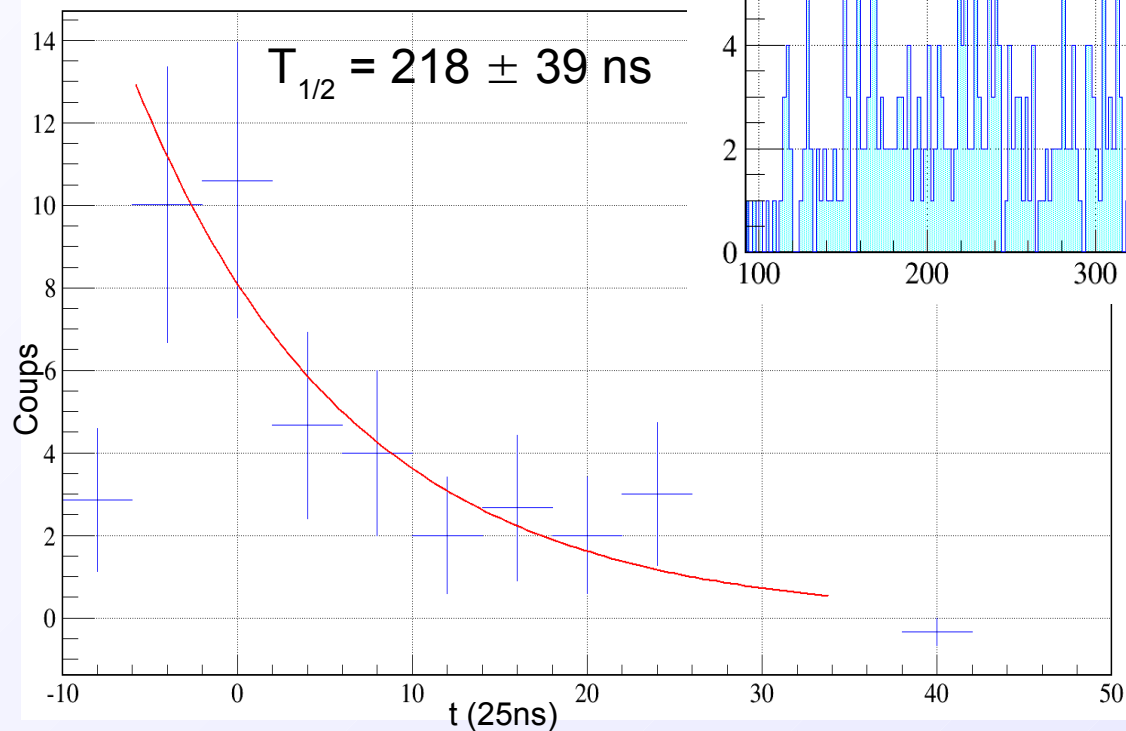
# Méthodes expérimentales (RIBF)

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

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



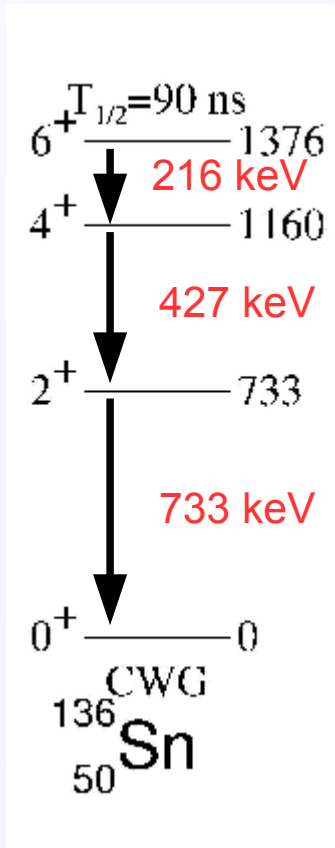
Distribution en temps des énergies:



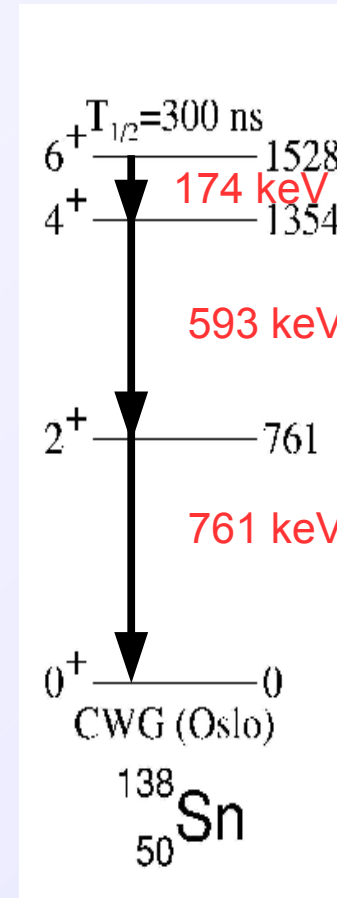
# Méthodes expérimentales (RIBF)

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

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



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



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

	$^{132}\text{Te}$	$^{133}\text{Te}$	$^{134}\text{Te}$	$^{135}\text{Te}$	$^{136}\text{Te}$
	$^{131}\text{Sb}$	$^{132}\text{Sb}$	$^{133}\text{Sb}$	$^{134}\text{Sb}$	$^{135}\text{Sb}$
<b>Z = 50</b>	$^{130}\text{Sn}$	$^{131}\text{Sn}$	$^{132}\text{Sn}$	$^{133}\text{Sn}$	$^{134}\text{Sn}$
	$^{129}\text{In}$	$^{130}\text{In}$	$^{131}\text{In}$	$^{132}\text{In}$	$^{133}\text{In}$
	$^{128}\text{Cd}$	$^{129}\text{Cd}$	$^{130}\text{Cd}$	$^{131}\text{Cd}$	$^{132}\text{Cd}$
			<b>N = 82</b>		

**Merci de votre attention!**