

# Spectroscopie gamma des fragments de fission de la région proche du noyau $^{78}\text{Ni}$

# Plan

- Introduction – Structure nucléaire
- Étude des noyaux proches du noyau  $^{78}\text{Ni}$ 
  - Raisons/Motivations
  - Types d'expériences à réaliser pour cette étude
- Expérience à Jyväskylä (Finlande)
  - Zone d'étude
  - Analyse des données
  - Exemple d'analyse des données
  - Résultats
  - Interprétation/Perspectives
- Étude complémentaire : EXOGAM à l'ILL
- Conclusion

# Introduction – Structure nucléaire

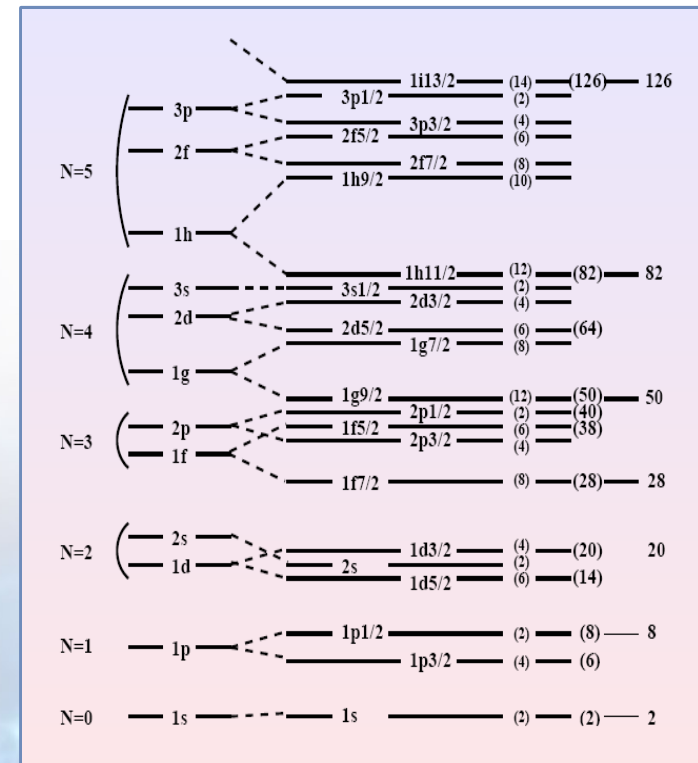
- Noyau = **objet quantique composé de nucléons** (protons-neutrons) rangés dans des couches nucléaires.
- **Couches nucléaires** pouvant contenir un nombre précis de nucléons :

**Nombres magiques** (2,8,20,28,50,82,126)

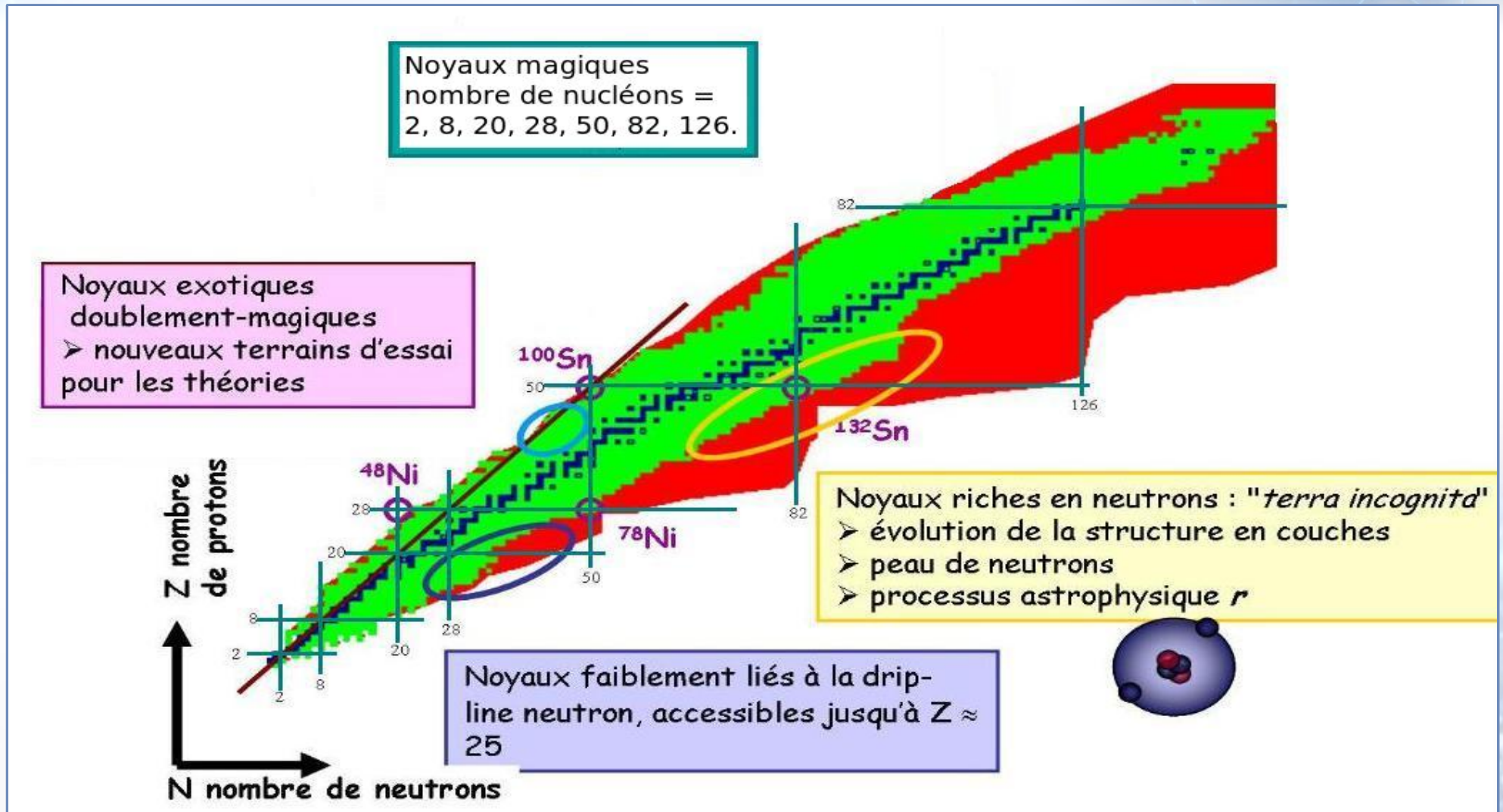
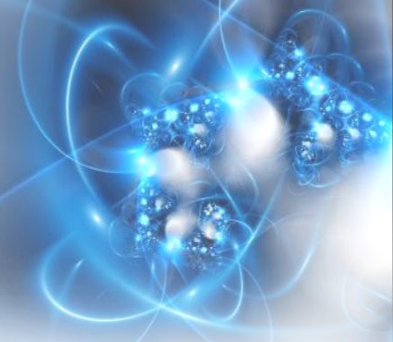
- **Énergie de liaison** par nucléon



**Discontinuités** pour  $Z$  et  $N$  = nombres magiques (dû à un excès d'énergie de liaison).



# Introduction – Structure nucléaire





# Étude de la structure des noyaux proches du noyau $^{78}\text{Ni}$

- Sujet de mon étude : spectroscopie gamma des fragments de fission de la région proche du noyau  $^{78}\text{Ni}$ .

Spectroscopie gamma



Compréhension de l'interaction nucléon-nucléon loin de la stabilité ou test des différents modèles et changements de forces nucléaires.

- Étude de la région proche de  $N=50$

Configurations nucléaires des noyaux autour de  $N=50$  peu ou mal connues.

*On cherche donc à déterminer :*

- énergies des niveaux correspondants aux états excités à haut spin,
- présence ou non de changements de parité ou d'excitations de cœur.

Amélioration des connaissances de structure nucléaire loin de la stabilité

# Étude de la structure des noyaux proches du noyau $^{78}\text{Ni}$

## ➤ Quels types d'expériences réaliser ?

Fissions induites ou fissions spontanées. Expériences avec multidétecteurs germanium  
→ noyaux **excités** produits.

## ➤ Lieux pour réaliser ces expériences :

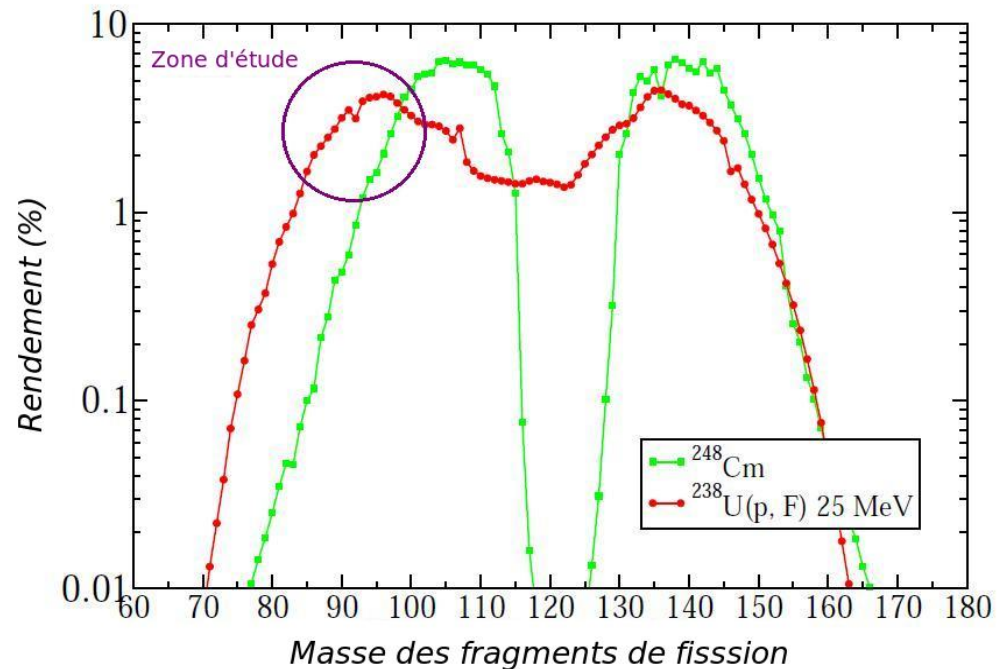
Noyaux riches en neutrons



Difficiles à produire dans de bonnes conditions.

Possibilité de produire ces noyaux dans les installations :

ILL (France), JUROGAM II (Jyväskylä, Finlande),  
RIKEN (Japon), CERN (Suisse)...

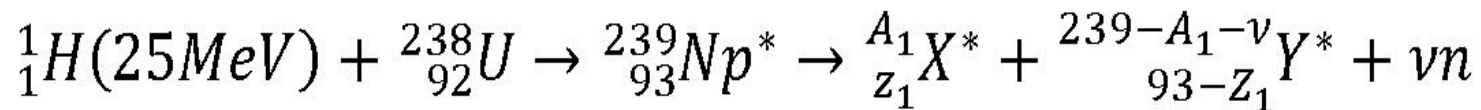


# Expérience Jyväskylä

- **Spectroscopie des raies gamma promptes** des noyaux riches en neutrons dans la région de masse  $A=80$  réalisée avec le dispositif expérimental Jurogam-II à Jyväskylä en Finlande.



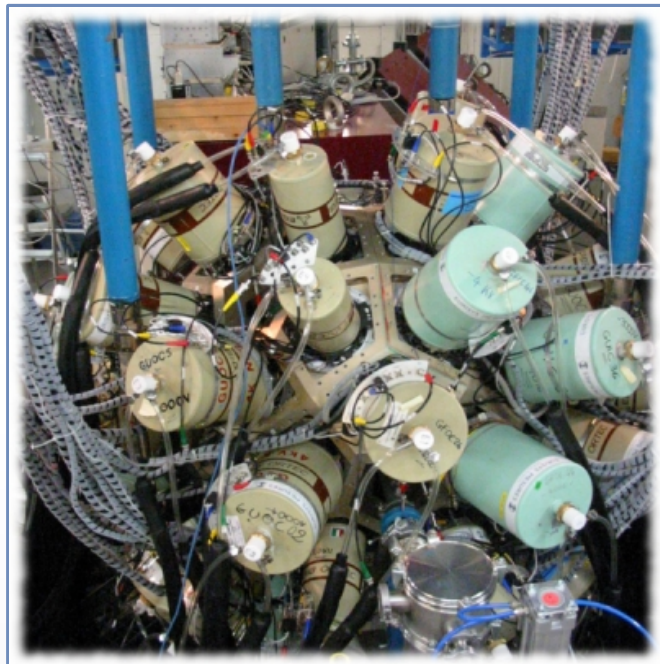
- Réaction utilisée : Réaction de **fission induite** d' $^{238}\text{U}$  par un faisceau de protons de 25MeV.



Avec  $\nu$  = nombre de neutrons évaporés  
X et Y = fragments de fission étudiés

Évaporation de neutrons = perte de neutrons d'un noyau porté dans un état excité suite à une collision nucléaire.

# Expérience Jyväskylä - Dispositif expérimental



➤ Demi sphère autour de la cible d'uranium de **détecteurs Germanium** de haute pureté (HPGe):

- 24 clovers (4 cristaux dans le même cryostat).
- 15 simples cristaux.

Intérêt des HPGe



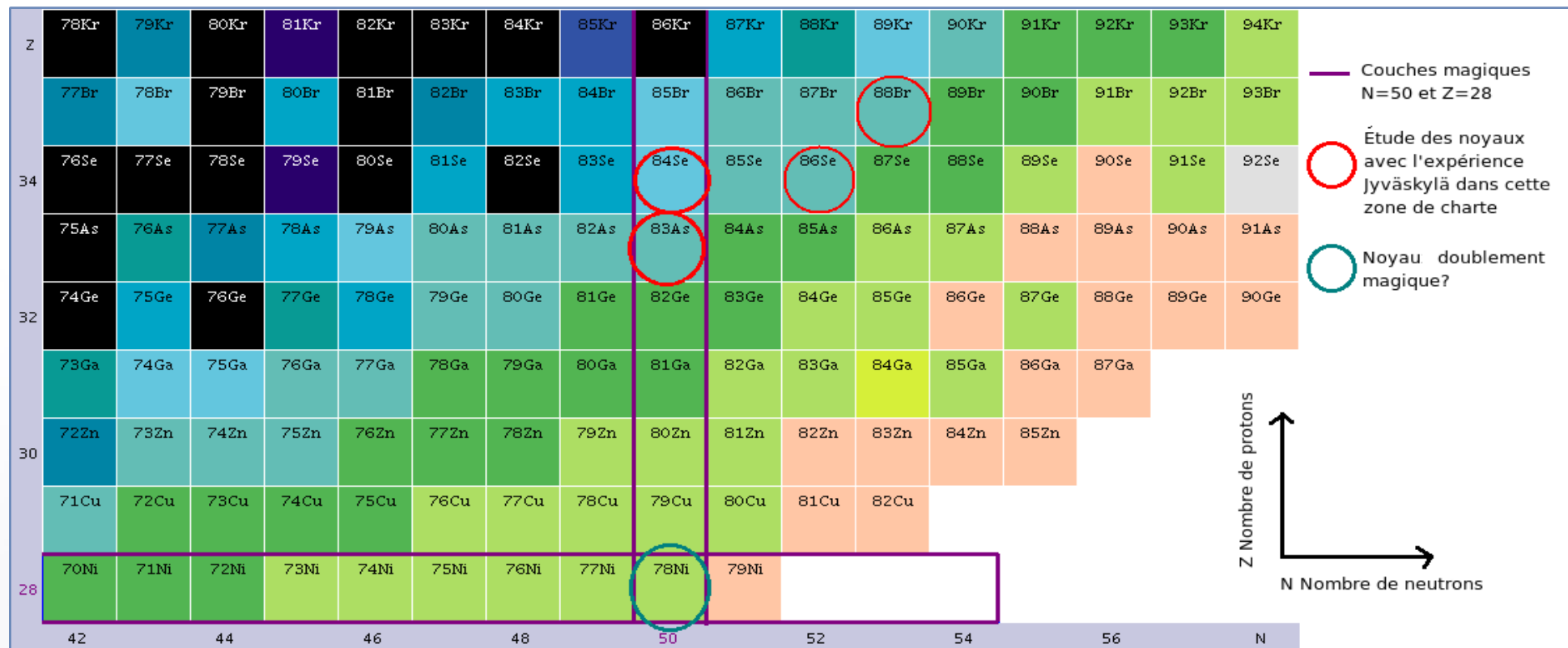
Très bonne résolution

➤ Réaction produit environ  $10^5$  fissions/s, rendements des FF aux alentours de  $10^{-2}$  % (de population de fission totale) qui permettent une étude par **coïncidence  $\gamma$ - $\gamma$ - $\gamma$** .



# Expérience Jyväskylä – Zone d'étude

- Production de ~ 200 noyaux et chacun émet ~ 6-8  $\gamma$ .
- Expérience qui nécessite beaucoup de  $\gamma$ - $\gamma$ - $\gamma$  pour l'analyse ( $\sim 10^9$ ).
- Noyaux autour de  $N=50$  sont bien produits avec cette réaction.
- Noyaux étudiés dans le cadre de ma thèse :  $^{84}\text{Se}$  et  $^{83}\text{As}$  ( $N=50$ );  $^{86}\text{Se}$  et  $^{88}\text{Br}$  (riches en neutrons).



# Expérience Jyväskylä – Analyse des données

## ➤ Acquisition de données – Programme d'analyse :

Les données de cette expérience ont été enregistrées en continu, chaque  $\gamma$  est daté pour pouvoir être analysé (hors-ligne).

On utilise les événements comprenant  $3\gamma$  ou plus en coïncidence dans une porte en temps de :

150-200 ns pour les événements prompts → étude des transitions  $\gamma$

Deux programmes d'analyses sont utilisés : GRAIN construit des événements et RADWARE permet de visualiser les spectres et d'analyser les données avec des coïncidences  $\gamma$ - $\gamma$ .

➤ Nombreuses combinaisons de transitions gamma possibles pour étudier ces noyaux.

# Expérience Jyväskylä – Analyse des données

➤ Analyse des noyaux proches du  $^{78}\text{Ni}$  :

Pour chaque réaction de **fission**:

**6 neutrons évaporés** en moyenne

Identification du fragment de fission complémentaire produit majoritairement

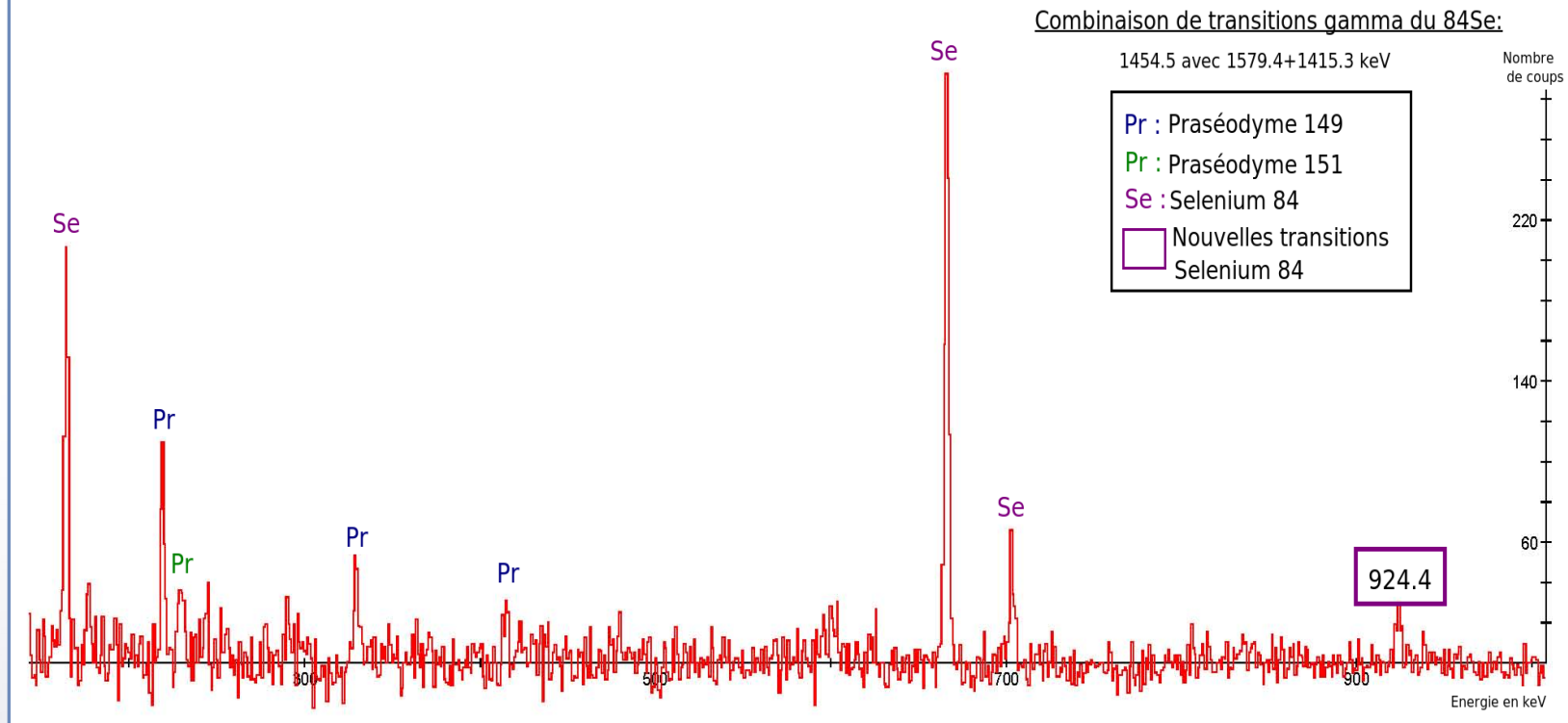
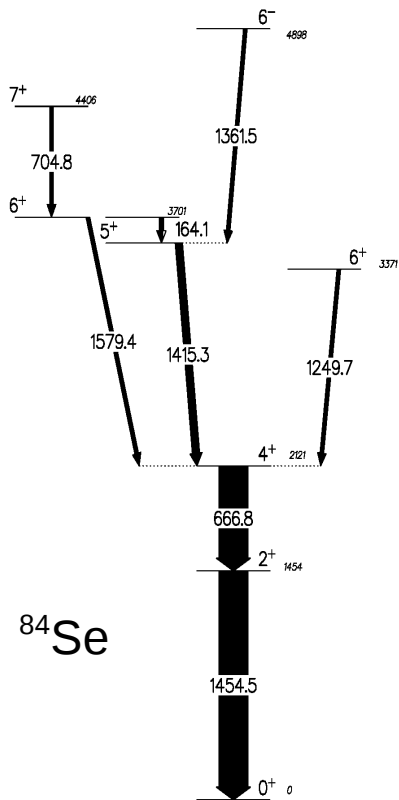
Exemple : Le fragment de fission complémentaire majoritaire du  $^{84}\text{Se}$  est le  $^{149}\text{Pr}$  car :

$$A(^{238}\text{U}+p)-A(^{84}\text{Se})-\text{nb}(\text{neutrons-évaporés}) = 239-84-6 = 149 = A(^{149}\text{Pr})$$

$$Z(^{238}\text{U}+p)-Z(^{84}\text{Se}) = 93-34 = 59 = Z(\text{Pr})$$

# Expérience Jyväskylä – Exemple d'analyse pour $^{84}\text{Se}$

- Schéma de niveaux préalablement connu, que se passe t-il à plus **haut spin**?
- *Dans Radware* : **combinaison de transitions gamma** du  $^{84}\text{Se}$  → spectre ci-dessous.

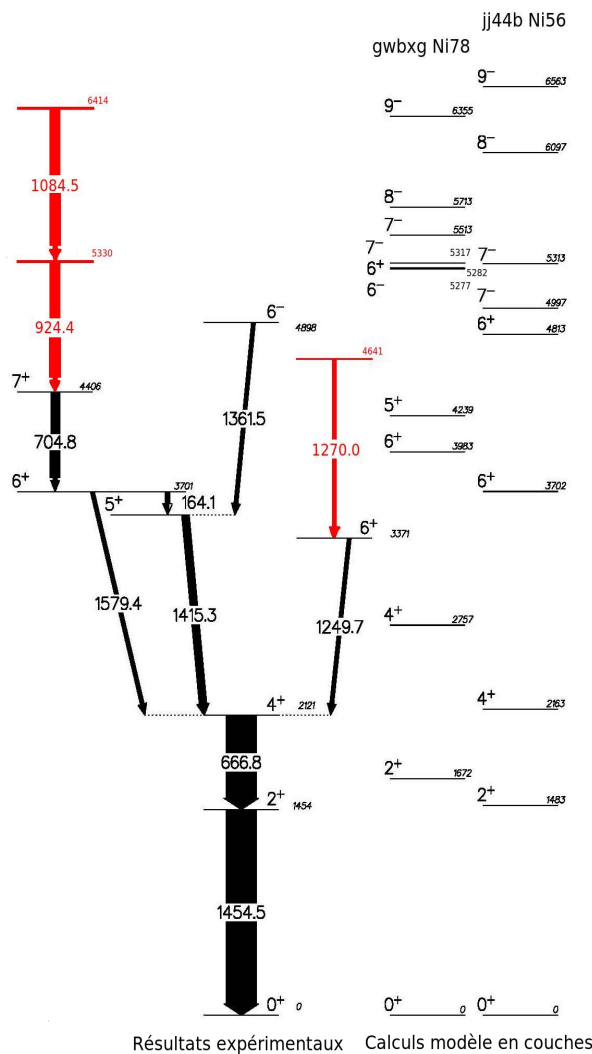


- **Identification** de toutes les raies présentes sur le spectre obtenu.
- Recherche de **nouvelles transitions** de désexcitation du  $^{84}\text{Se}$ .

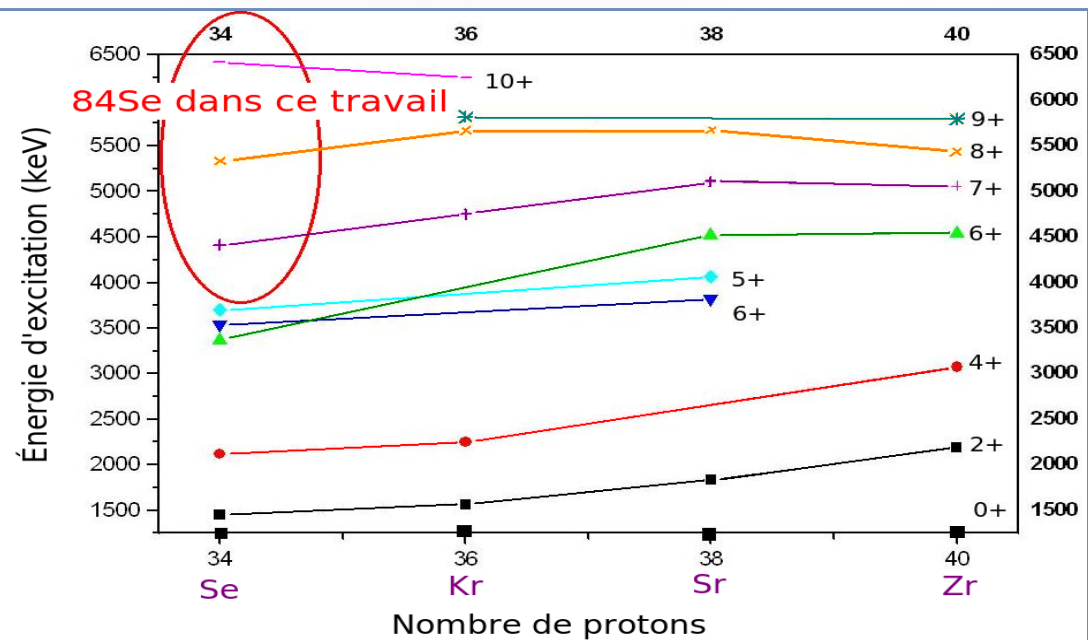


# Expérience Jyväskylä – Résultats

## $^{84}\text{Se}$

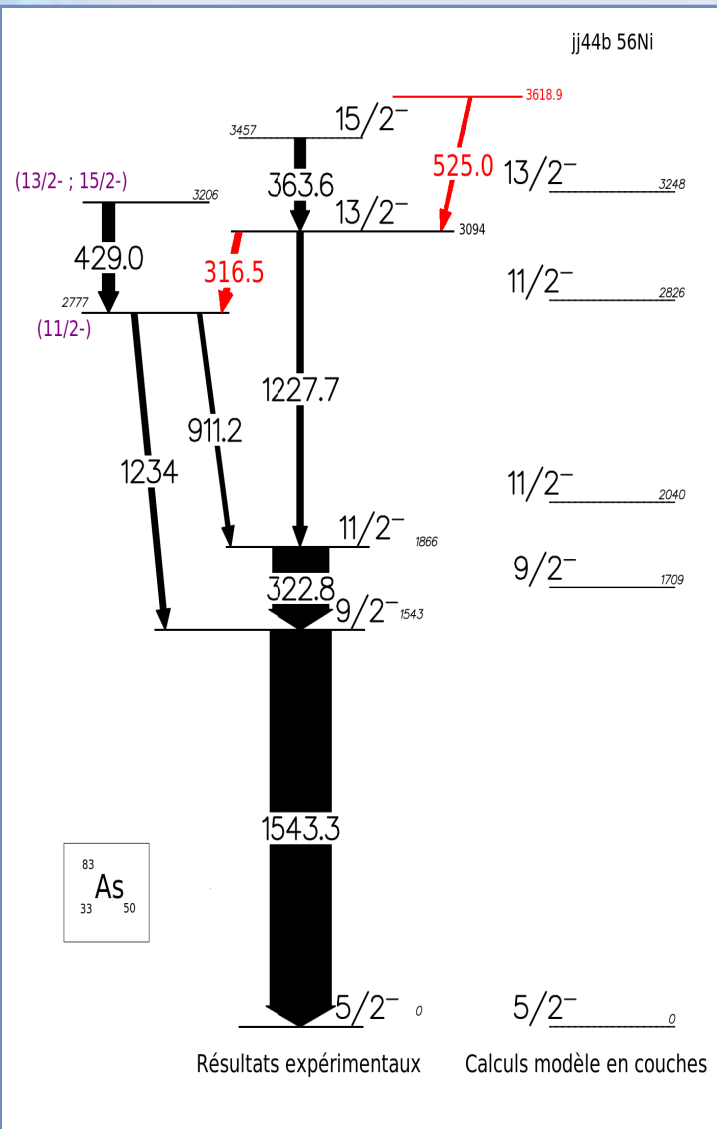
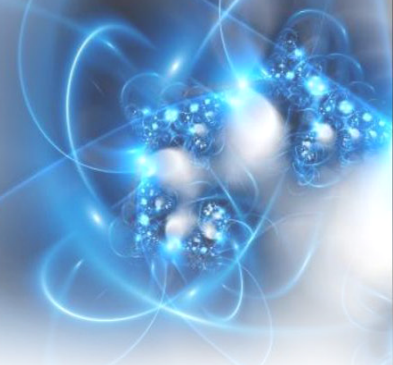


- Transitions en **rouges** = nouvelles transitions.
- « Gwbxg » et « jj44b » = interactions utilisées pour le calcul modèle en couches.
- Noyau de  $^{56}\text{Ni}$  plus adapté car  $^{78}\text{Ni}$  cœur magique?
- *Configuration dominante pour 2<sup>+</sup> et 4<sup>+</sup> :  $\pi p3/2^-$*
- Étude systématique donnant l'évolution des états de spin de **quatre isotones ayant N=50**.

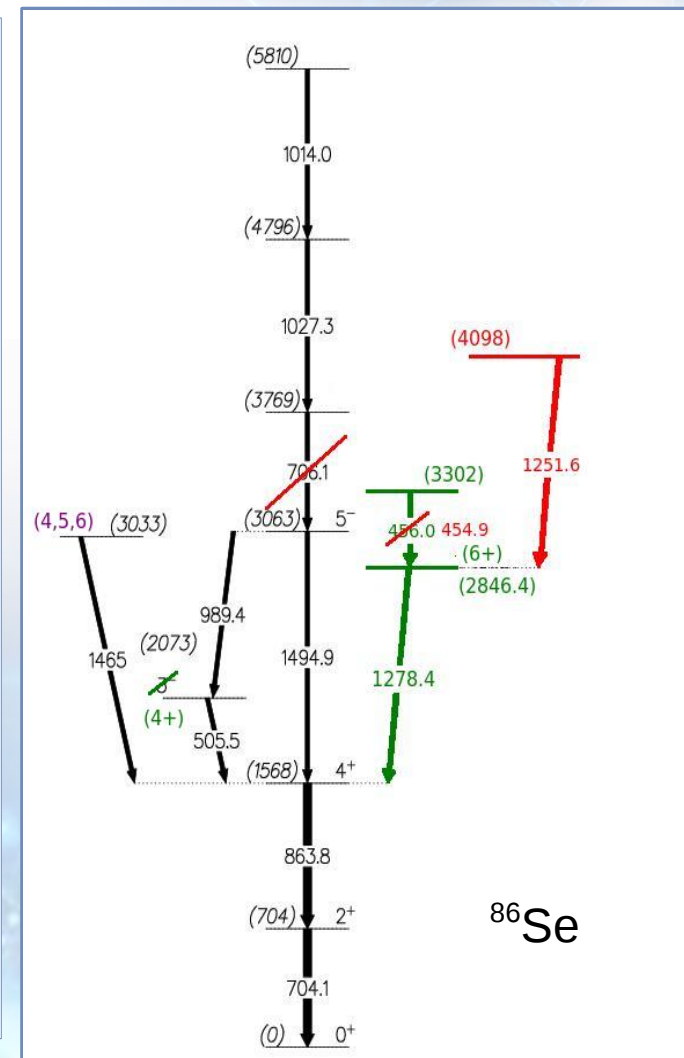


# Expérience Jyväskylä – Résultats

## $^{83}\text{As}$ et $^{86}\text{Se}$



- Transitions en **rouge** = nouvelles transitions ou modifications des données existantes.
- Transitions en **vert** = transitions en cours de publication (équipe ILL).
- Spins et parités en **violet** = spins provisoires issus des calculs.
- Spins et parités** à déterminer avec certitude en utilisant des corrélations angulaires ou autres systématiques.
- Calcul** du modèle en couches en cours pour  $^{86}\text{Se}$ .



# Expérience Jyväskylä - Interprétations

- Les **calculs de modèle en couches** avec l'interaction jj44b sont en accord avec les résultats expérimentaux pour les états ayant des spins les plus bas observés dans cette expérience de fission induite.
- L'interaction **jj44b** reproduit mieux les résultats expérimentaux pour les plus bas spins observés que l'interaction gwbxg.

Étude du  $^{84}\text{Se}$  et  $^{83}\text{As}$



Test interaction proton-proton (p-p)

Étude du  $^{86}\text{Se}$



Test interaction p-p / n-n / n-p

# Expérience Jyväskylä - Perspectives

- À plus haute énergie les calculs du **modèle en couches** ne sont plus en adéquation avec les résultats expérimentaux, changements de parités ou non?
- **$^{78}\text{Ni}$  cœur magique?** Difficile de l'utiliser pour les calculs modèle en couches.
- Nécessité de créer des interactions **plus complexes** qui prendront en compte ces observations.
- Les **corrélations angulaires** sont la prochaine étape pour déterminer les spins des nouveaux niveaux avec plus de certitude.



# Suite de cette étude – Expérience EXOGAM à l'ILL

## ➤ Dispositif expérimental EXILL:

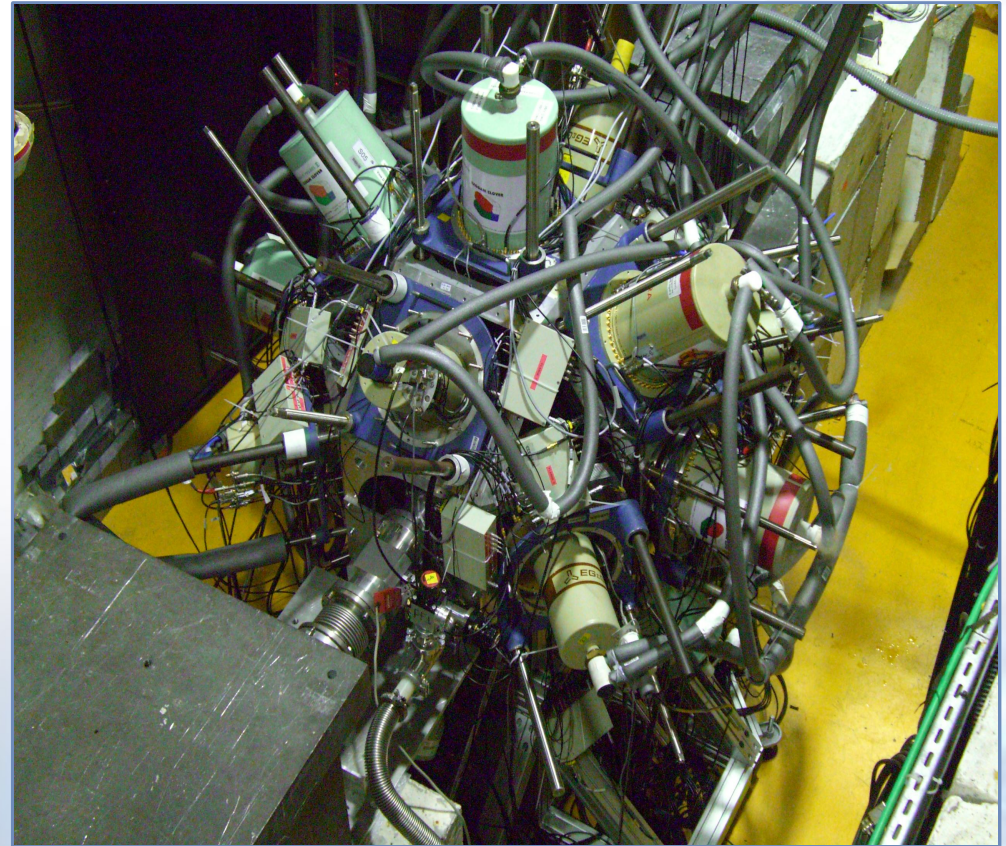
- 8 détecteurs Ge clovers segmentés (EXOGAM).
- 6 détecteurs Ge coaxiaux de grande efficacité (GASP).
- 2 détecteurs Ge clovers (LOHENGRIN)
- bouclier anti-compton.



Couvrent un angle solide important

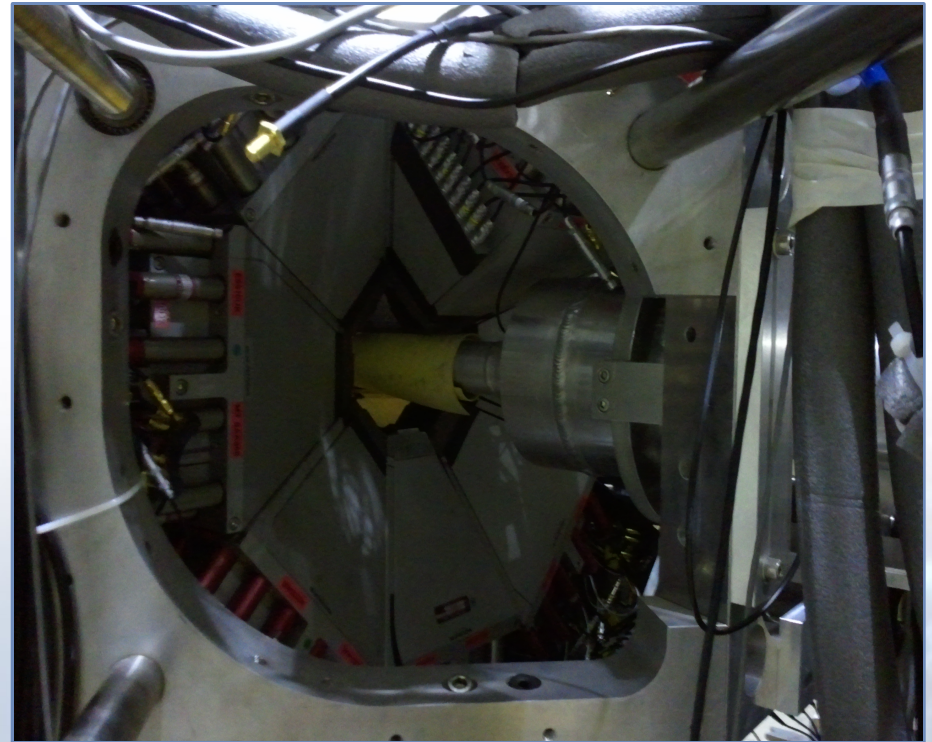
- Faisceau de **neutrons froids** à PF1b (aire expérimentale ILL guide de neutrons).

- Noyaux **exotiques** produits par processus de fission avec de l' $^{235}\text{U}$  et du  $^{241}\text{Pu}$ .



# Suite de cette étude – Expérience EXOGAM à l'ILL

- Premières estimations pour campagne  $^{235}\text{U}$ :  
950 milliards d'événements enregistrés sur lesquels **130 milliards de coïncidences  $\gamma$ - $\gamma$ - $\gamma$**  devraient être exploitables !
- EXILL est par conséquent une expérience idéale pour la **détection de cascades de multiplicité moyenne**.
- Suite de mon étude : étude des noyaux proches du  $^{78}\text{Ni}$  avec les données d'EXILL de la campagne fission de l' $^{235}\text{U}$ .





# Conclusion et perspectives

- Amélioration des **connaissances nucléaires** des noyaux proches de  **$N=50$** .
- Calculs de **modèle en couches** en accord avec les résultats expérimentaux aux plus bas spins observés, et **améliorations des interactions** utilisées dans les calculs, pour les autres spins et parités (contact avec des théoriciens).
- Essais de calculs avec les **nouvelles interactions**.
- **Corrélations angulaires** en cours afin de déterminer les spins et parités des nouveaux niveaux avec certitude.
- Étude de la région proche de  **$A=100$**  avec données de Jyväskylä.
- **Analyse** des **données d'EXILL**.



**Merci de votre attention**