

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

Plan

- Introduction – Structure nucléaire
- Étude des noyaux proches du noyau ^{78}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.

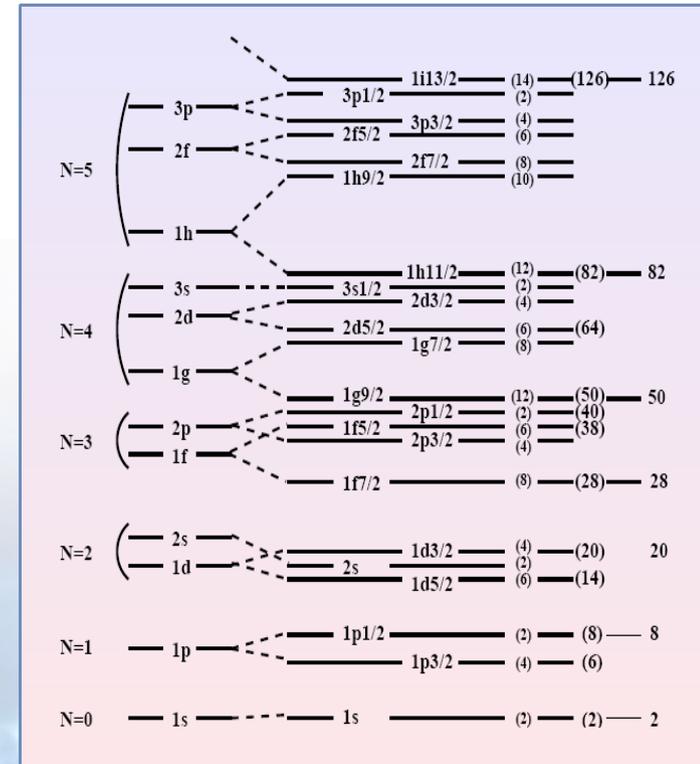
➤ **Couches nucléaires** pouvant contenir un nombre précis de nucléons :

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

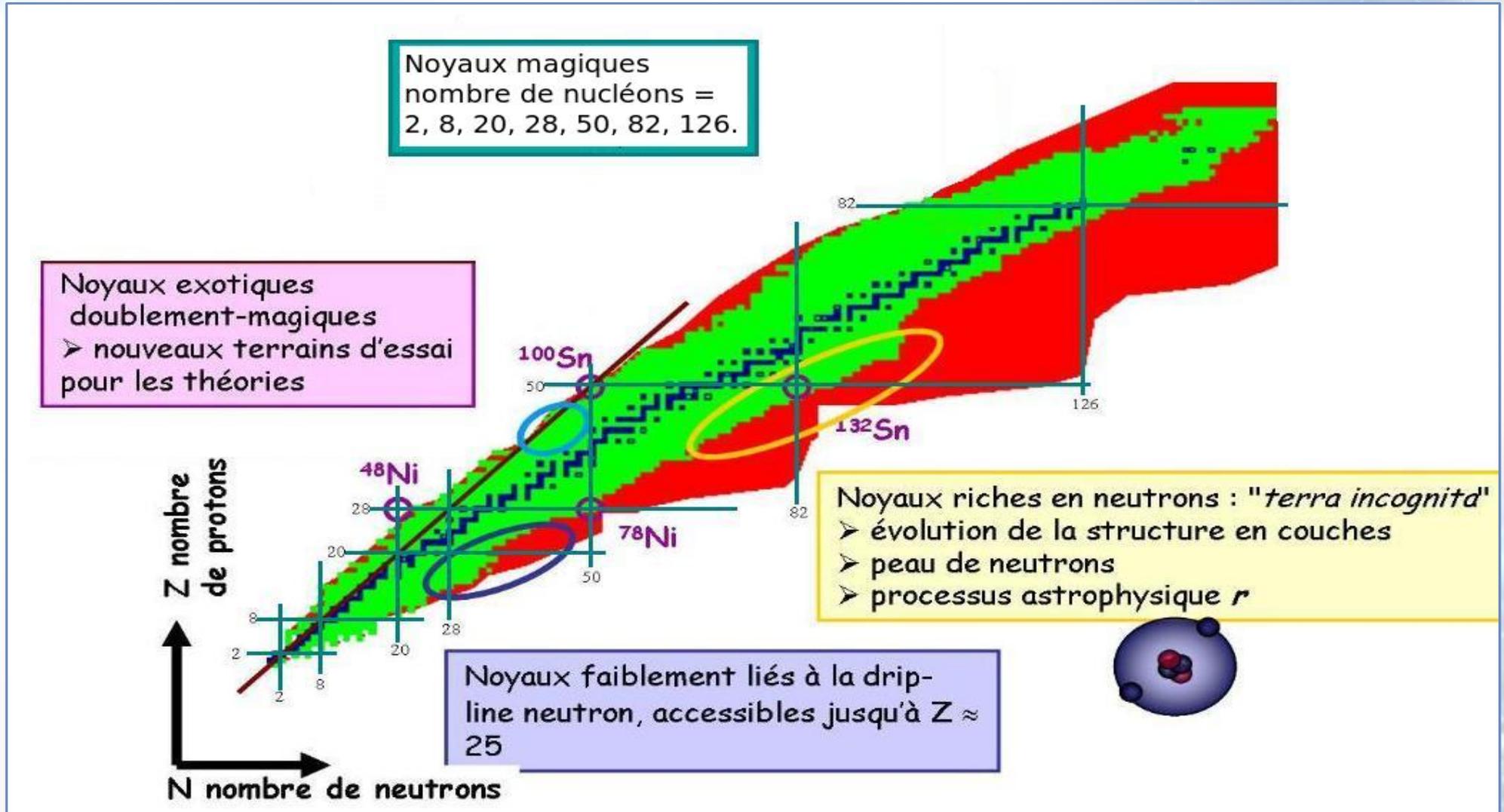
➤ **Énergie de liaison** par nucléon



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}Ni

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

➤ Quels types d'expériences réaliser ?

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

➤ Lieux pour réaliser ces expériences :

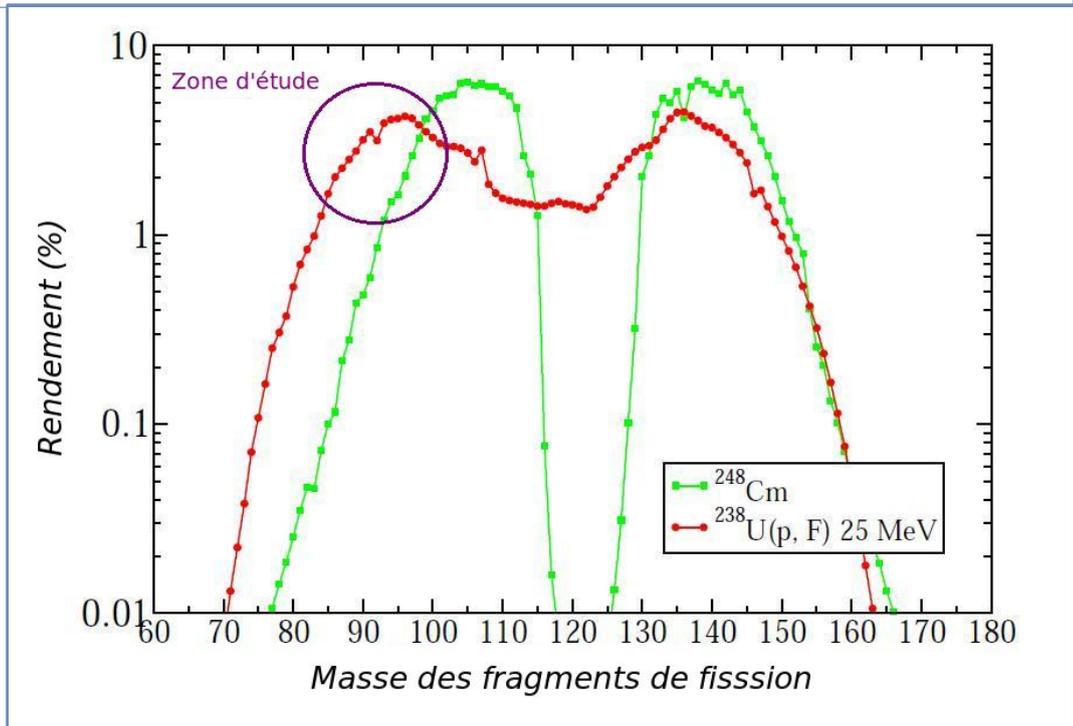
Noyaux riches en neutrons



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)...

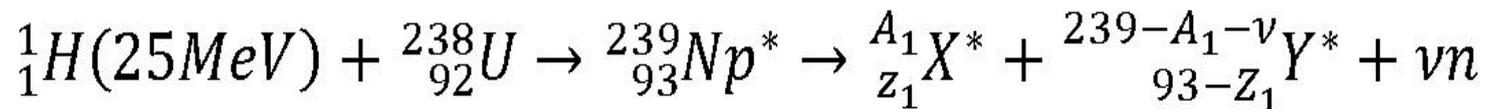


Expérience Jyväskylä

- **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.



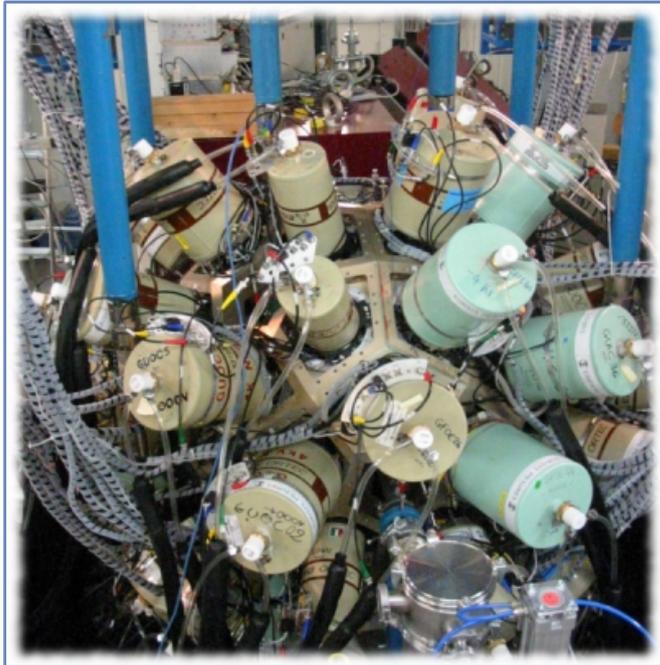
- Réaction utilisée : Réaction de **fission induite** d' ^{238}U par un faisceau de protons de 25MeV.



Avec ν = 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 γ - γ - γ** .

Expérience Jyväskylä – Zone d'étude

- Production de ~ 200 noyaux et chacun émet ~ 6-8 γ .
- Expérience qui nécessite beaucoup de γ - γ - γ 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}Se et ^{83}As ($N=50$); ^{86}Se et ^{88}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 γ est daté pour pouvoir être analysé (hors-ligne).

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

150-200 ns pour les événements prompts → étude des transitions γ

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 γ - γ - γ .

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

Expérience Jyväskylä – Analyse des données

› Analyse des noyaux proches du ^{78}Ni :

Pour chaque réaction de **fission**:

6 neutrons évaporés en moyenne

Identification du fragment de fission complémentaire produit majoritairement

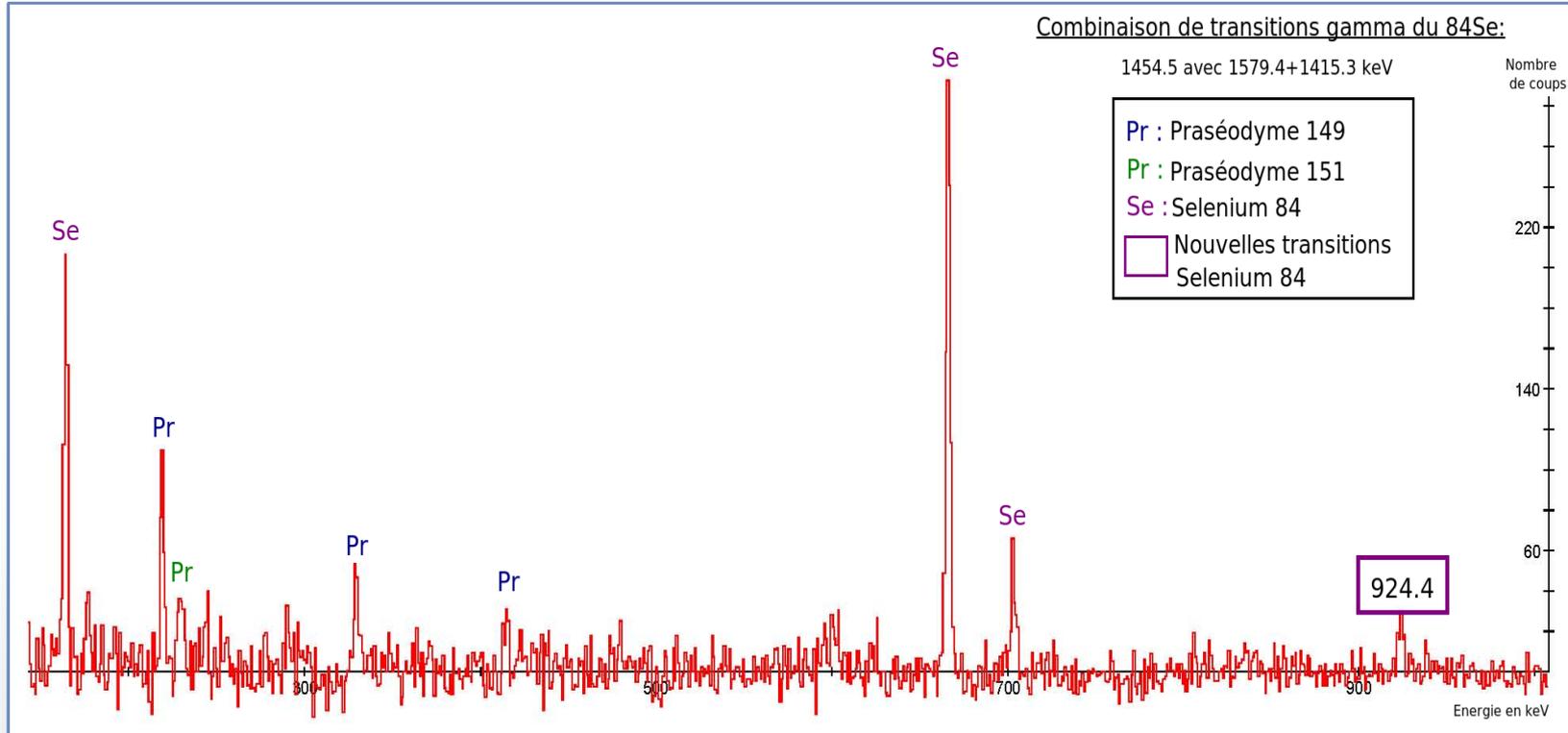
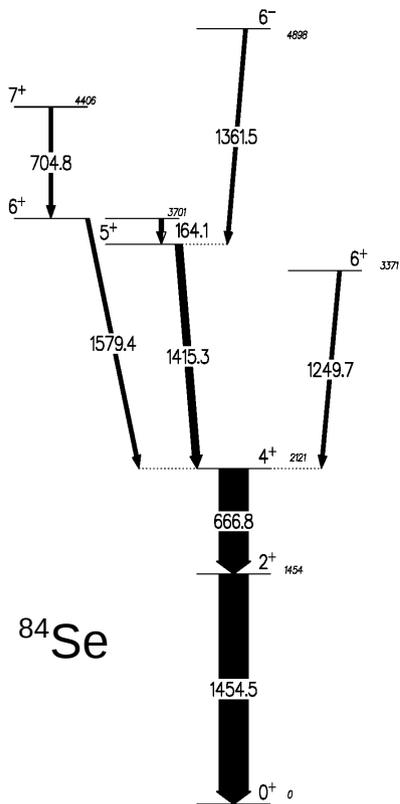
Exemple : Le fragment de fission complémentaire majoritaire du ^{84}Se est le ^{149}Pr car :

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

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

Expérience Jyväskylä – Exemple d'analyse pour ^{84}Se

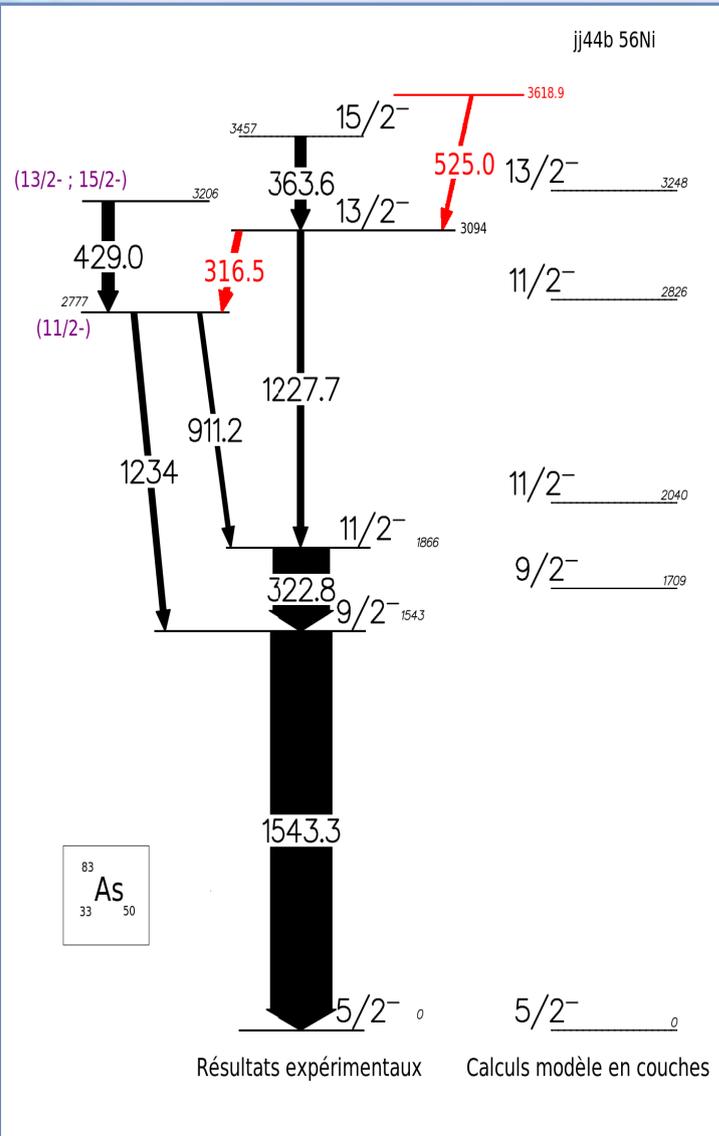
- Schéma de niveaux préalablement connu, que se passe t-il à plus **haut spin**?
- *Dans Radware* : **combinaison de transitions gamma** du ^{84}Se → spectre ci-dessous.



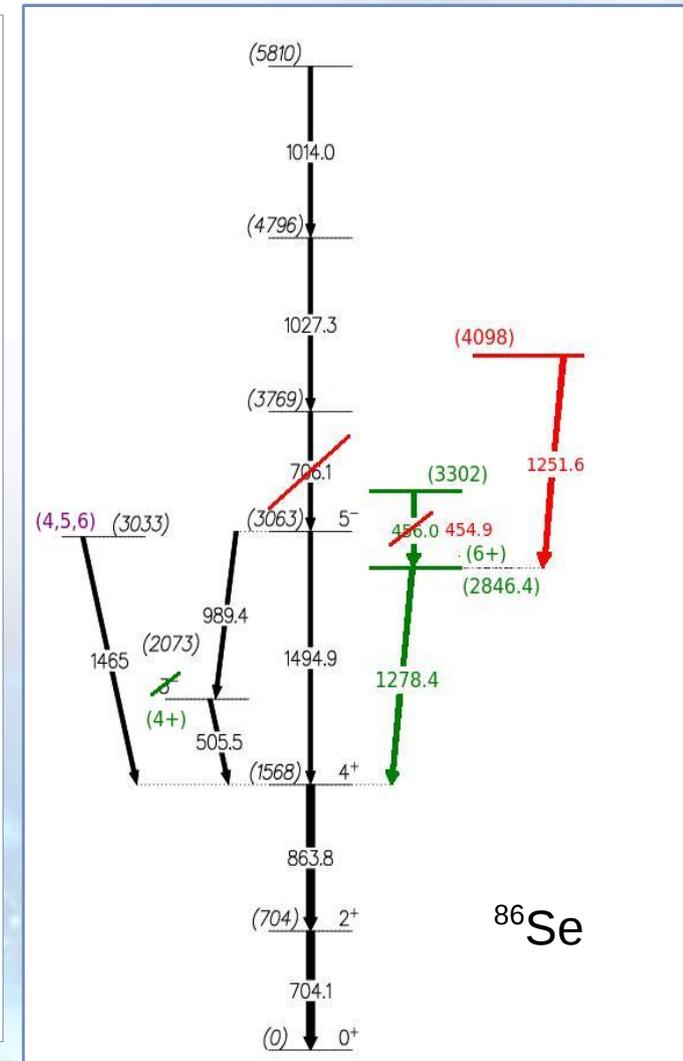
- **Identification** de toutes les raies présentes sur le spectre obtenu.
- Recherche de **nouvelles transitions** de désexcitation du ^{84}Se .

Expérience Jyväskylä – Résultats

^{83}As et ^{86}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}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}Se et ^{83}As



Test interaction proton-proton (p-p)

Étude du ^{86}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}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:

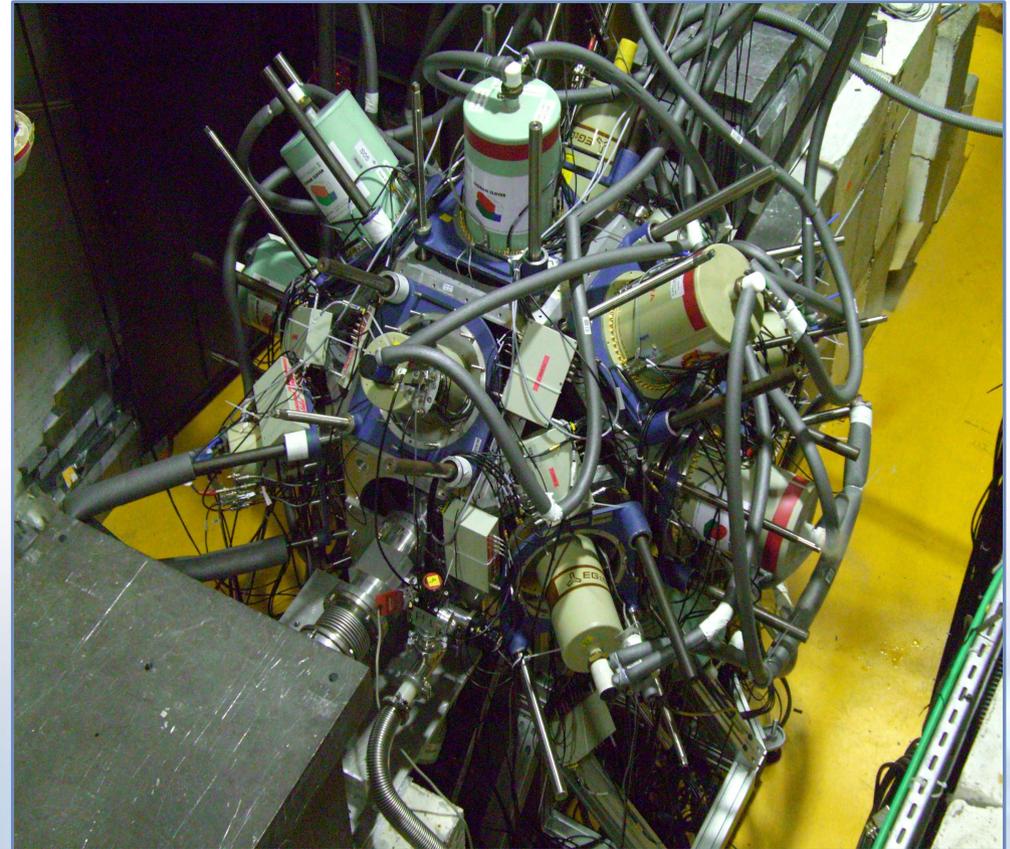
- 8 détecteurs Ge clovers segmentés (EXOGAM).
- 6 détecteurs Ge coaxiaux de grande efficacité (GASP).
- 2 détecteurs Ge clovers (LOHENGRIN)
- bouclier anti-compton.



Couvrent un angle solide important

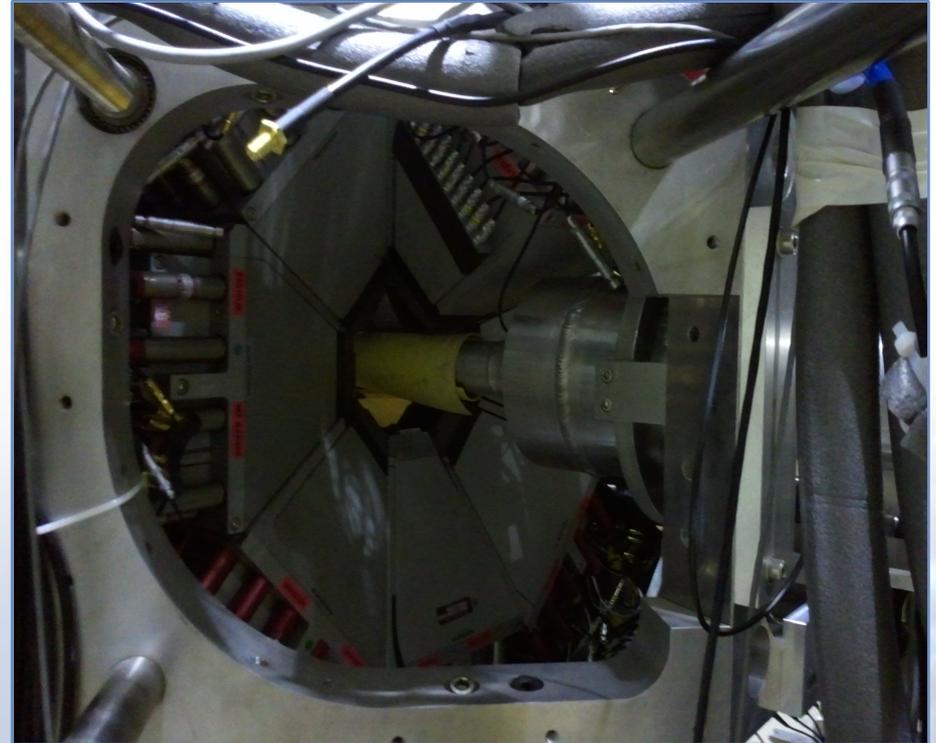
- › Faisceau de **neutrons froids** à PF1b (aire expérimentale ILL guide de neutrons).

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



Suite de cette étude – Expérience EXOGAM à l'ILL

- Premières estimations pour campagne ^{235}U :
950 milliards d'événements enregistrés sur lesquels **130 milliards de coïncidences γ - γ - γ** 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}Ni avec les données d'EXILL de la campagne fission de l' ^{235}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