

Groupe
de **R**cherche
sur l'**A**val
du **C**ycle
Electronucléaire

Philippe Dessagne

6275

Maëlle Kerveno

6281

Gérard Rudolf

6290

Bâtiment 24, 1er étage

Post doc :

Antoine Bacquias



Contexte énergétique mondial

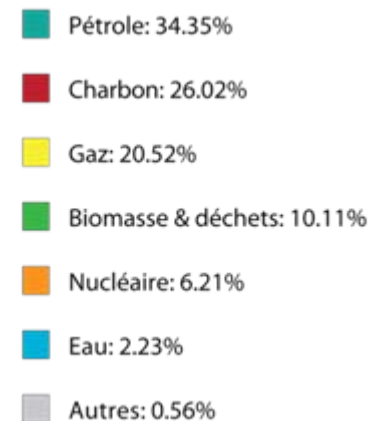
Croissance des besoins d'énergie :

- > Augmentation de la population mondiale (1% par an, 200 000 pers/jour)
- > Croissance de l'économie
- > 1,5 milliards de personnes n'ont pas accès à l'électricité aujourd'hui

Volonté de réduire l'émission de gaz à effet de serre

80% de l'énergie consommée à l'échelle mondiale provient de combustibles fossiles

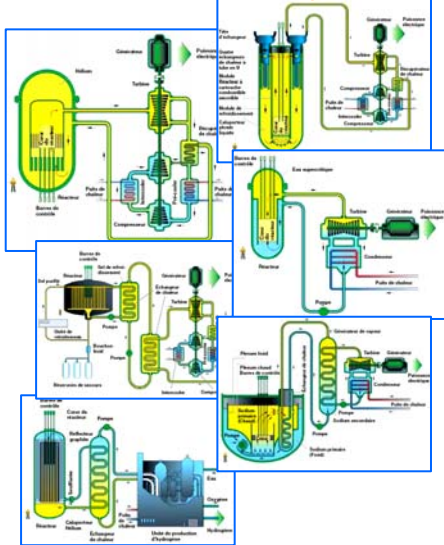
Solutions : optimisation de l'utilisation des sources d'énergie fossiles, augmentation de la part des énergies renouvelables et nucléaire



Sources d'énergie dans la production primaire au niveau mondial

L'énergie nucléaire : présent & futur

Gen IV reactor systems



Nouveaux concepts de réacteurs

- > réacteurs rapides
- > réacteurs hybrides

Nouveaux cycles de combustible

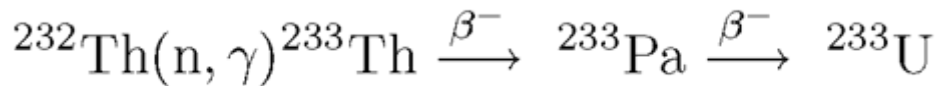
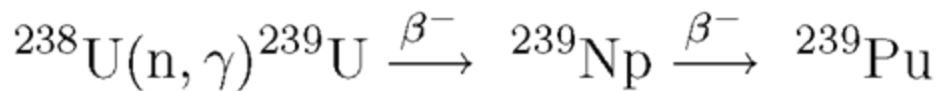
- > ^{238}U / ^{239}Pu
- > ^{232}Th / ^{233}U

Besoin important de **nouvelles données nucléaires** sur une large gamme de noyaux, d'énergie et de réactions.

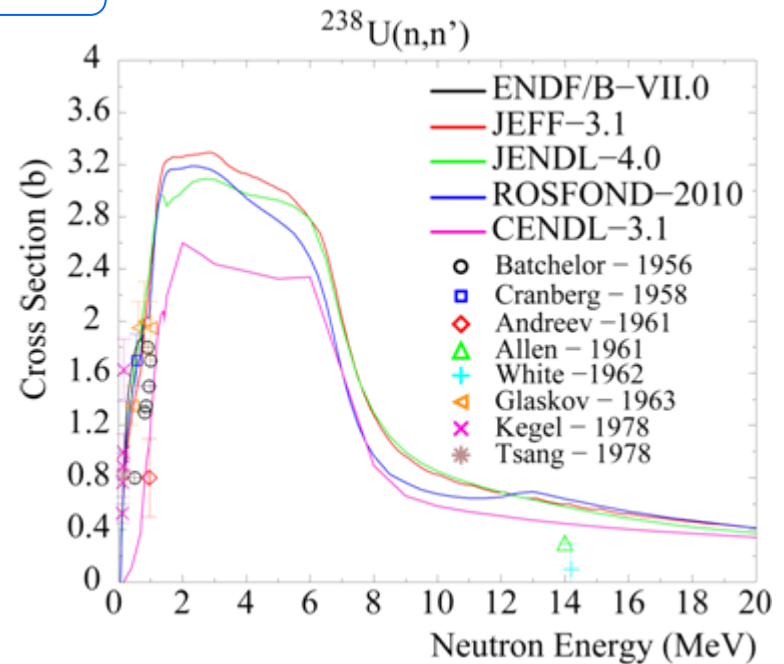
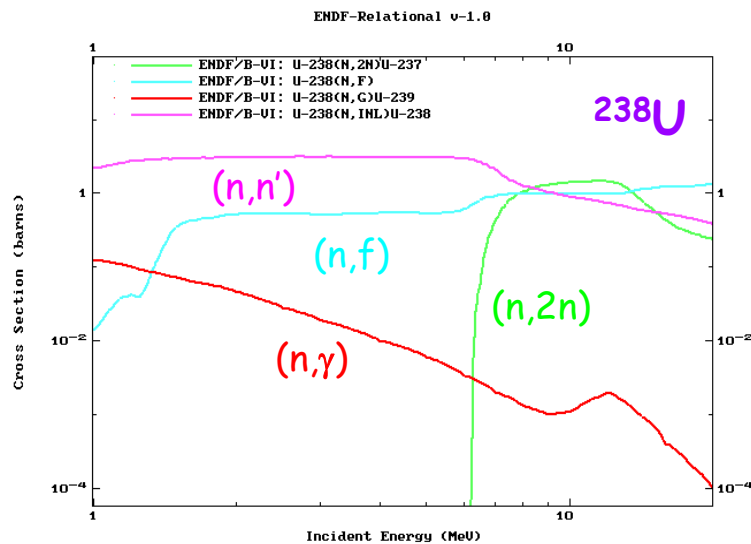
Un des challenges est

la précision des mesures

NEA Nuclear Data High Priority Request List



Sections efficaces de réaction $(n, xn \gamma)$



In reactor, **(n, xn) reactions** ($x \geq 1$) contribute to

- > Energy loss mechanism
- > Neutron multiplication
- > Production of radioactive isotopes

Bibliography in data bases shows that **improvement** of the **knowledge of (n, xn) process is necessary.**

How to study (n,xn) reactions?

- > Direct measurement of secondary neutrons
- > Activation technique
- > **prompt γ -ray spectroscopy**

Method: detection of the γ -rays stemming from the **decay of excited states** of nucleus created by the (n,xn) reaction.

(n,xn γ) cross section measurements -> **total (n,xn)** cross section :
Need of theoretical models...

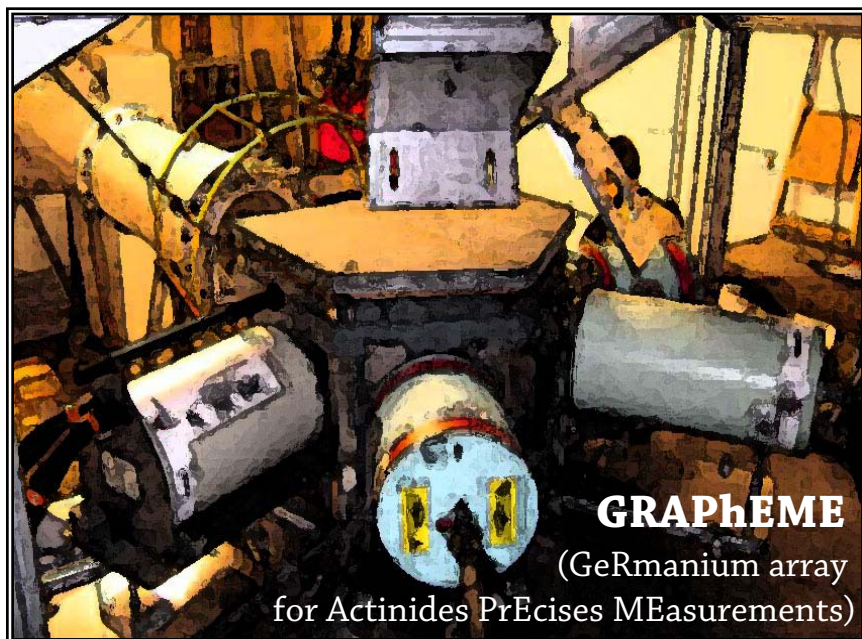
but

(n,xn γ) cross sections :

- can be measured using **"white" neutron beam** with the TOF technique,
- provide **exclusive measurements very restrictive** for testing models.

$(n, xn \gamma)$ reaction cross sections measurements

IPHC (France) / IRMM (Belgium) / IFIN-HH (Romania) collaboration
=> development of an **experimental set-up GRAPhEME**
dedicated to the **precise measurement**
of the $(n, xn \gamma)$ **reaction cross sections** on actinides
@ **GELINA facility (IRMM-Belgium)**



2005 – 2010 :

^{235}U campaign

2009 – 2010 :

^{232}Th campaign

2009 – 2012 :

nat,182,183,184,186W campaign

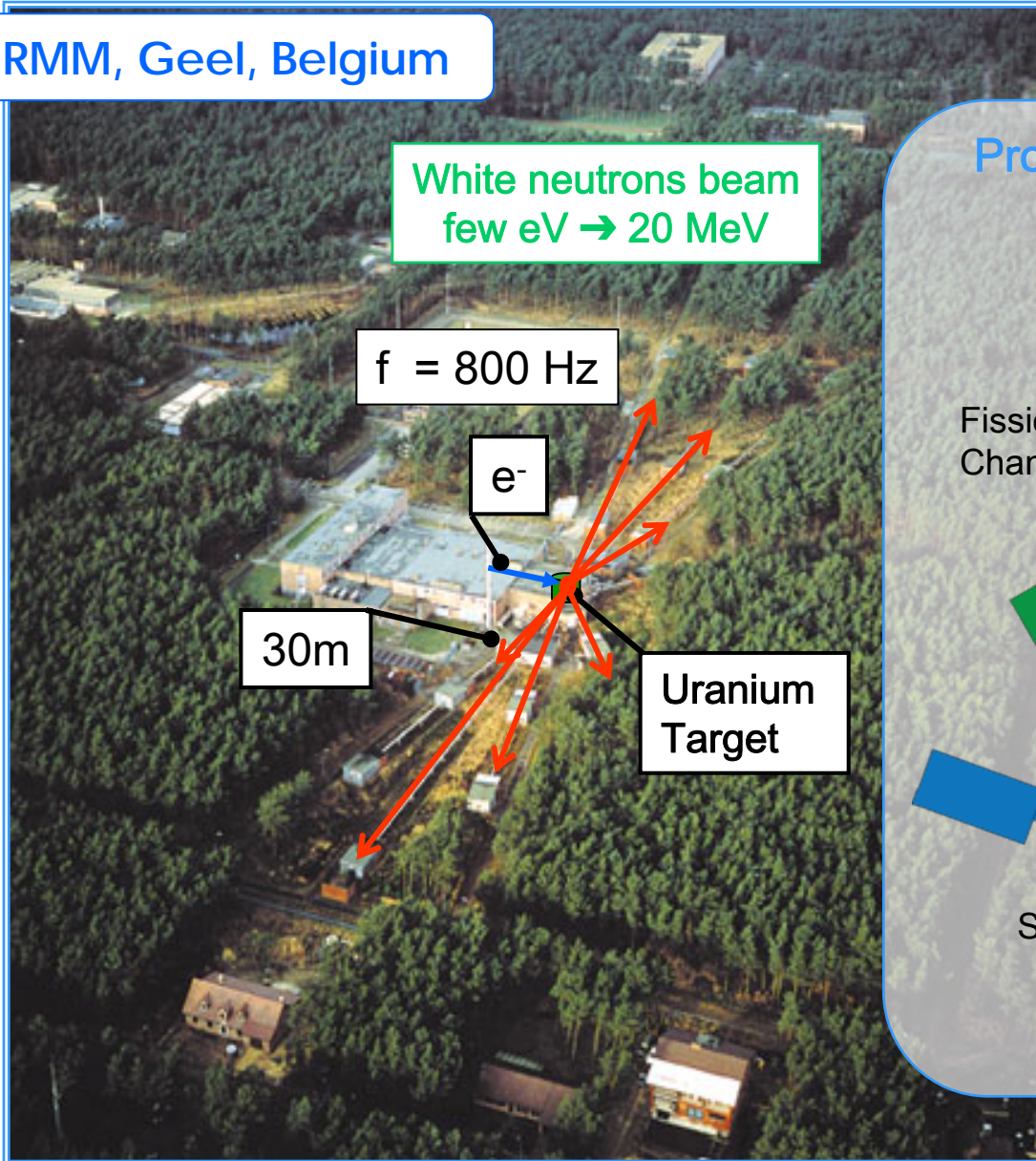
2011 – 2012 :

^{238}U campaign

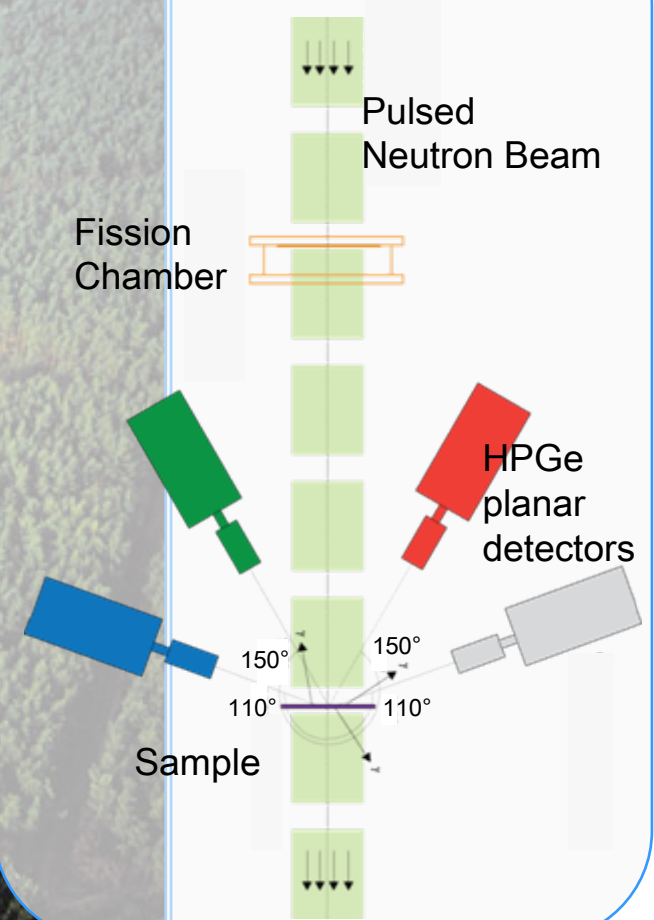
➔ **Collaboration** with **theoreticians** and **evaluators** to **improve** the **quality**
and the **description** of our **measured cross sections**

Experimental set-up

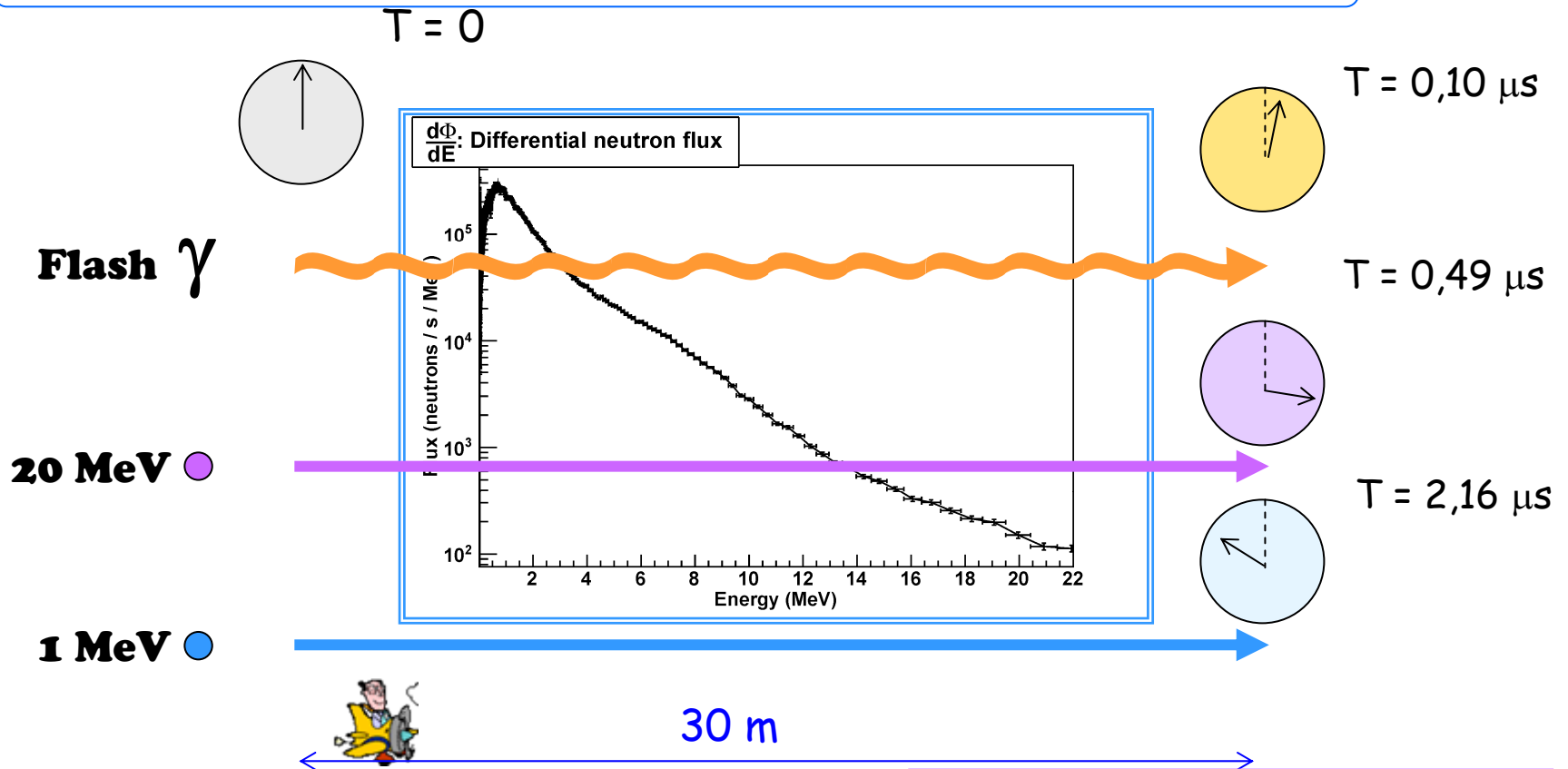
GELINA, IRMM, Geel, Belgium



Prompt γ spectroscopy



GELINA, Spectre de neutrons blanc : méthode du Temps de vol

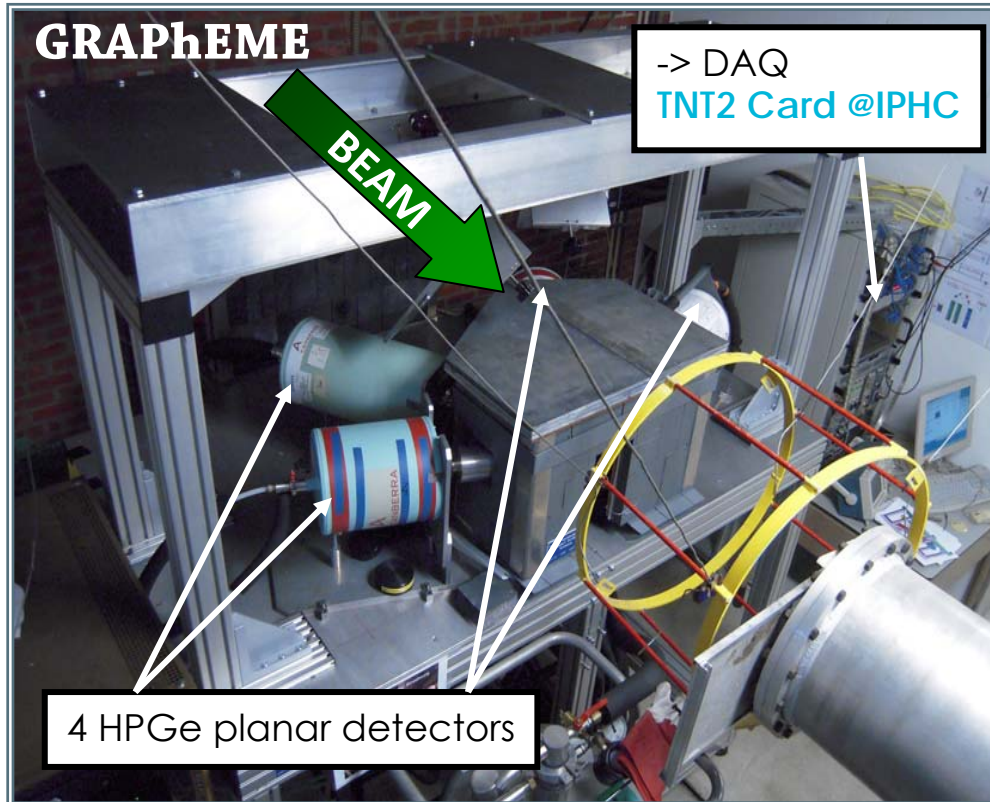


$$v = d/t, \quad \gamma = \sqrt{1/1 - v^2/c^2}$$

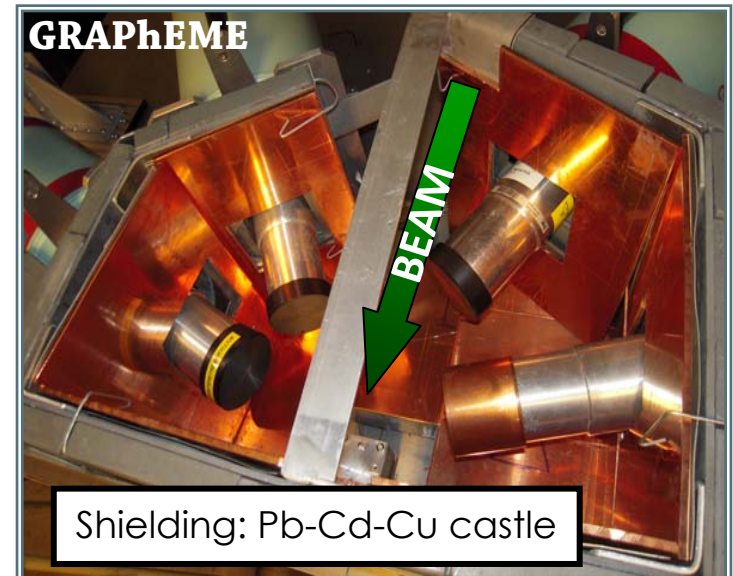
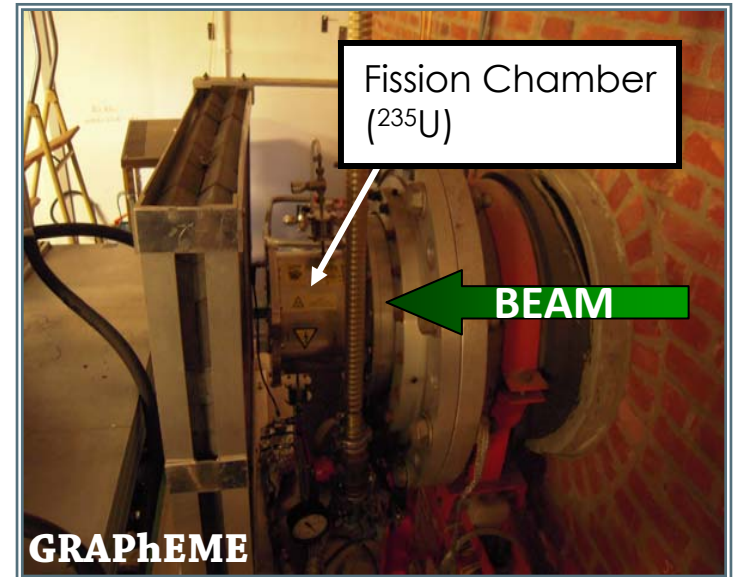
$$\Rightarrow E_n = (\gamma - 1)m_n c^2$$

Experimental set-up

FP16 – 30 m

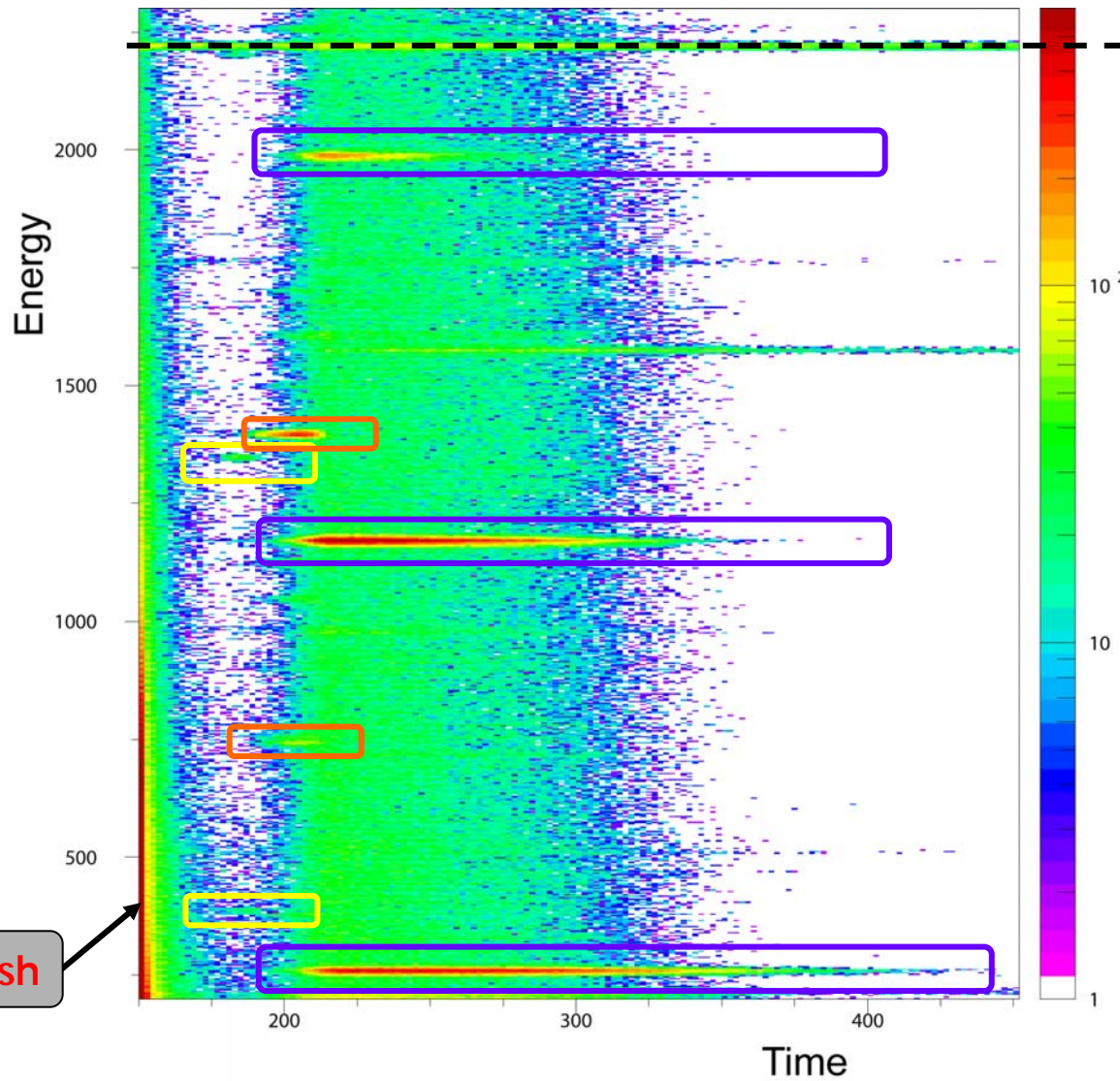


Noise insulation
(electromagnetic field from the accelerator)
and
 γ background reduction



TOF and γ spectra

Example of ^{232}Th



Radioactivity

$^{232}\text{Th}(n,n'\gamma)^{232}\text{Th}$

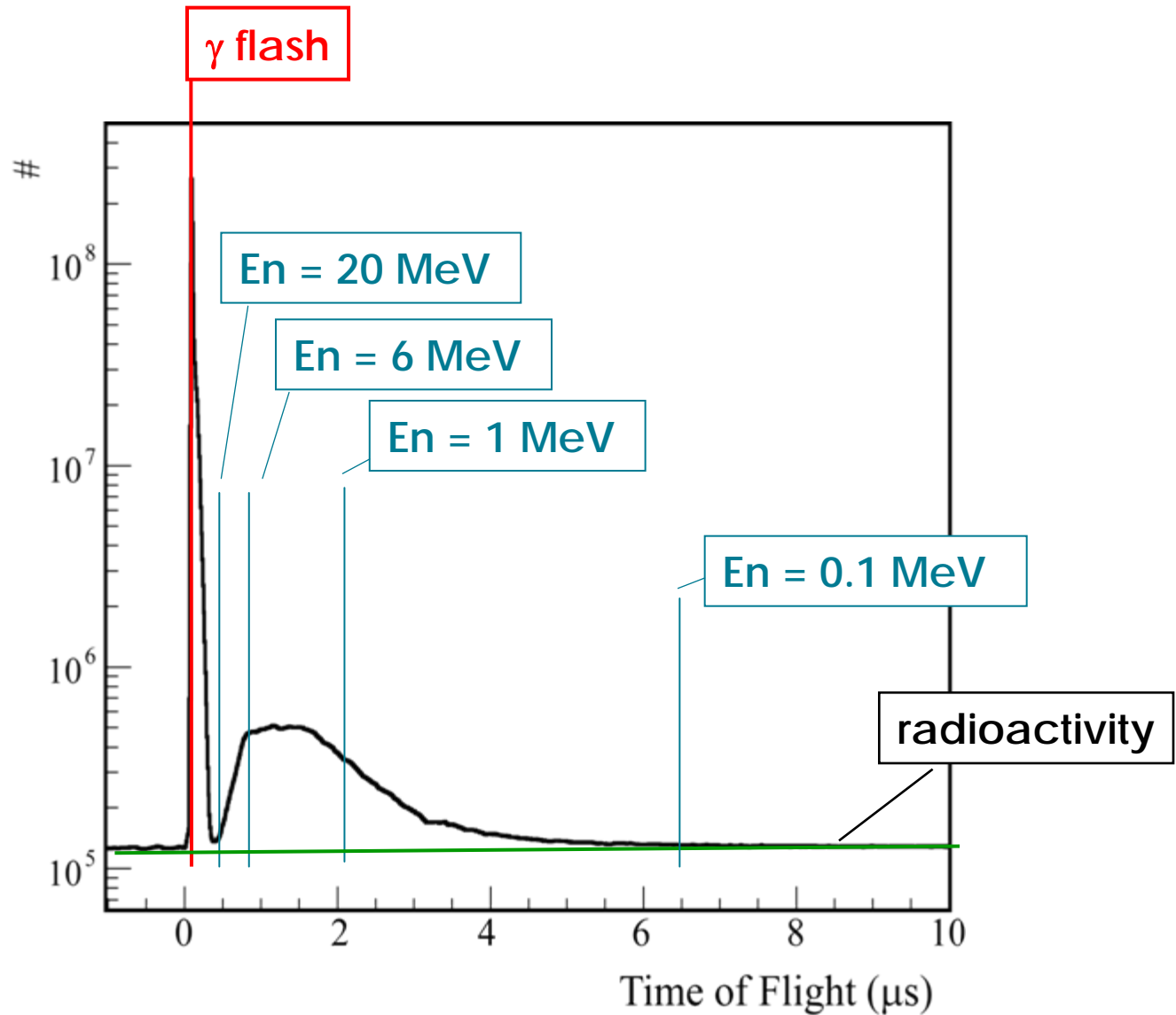
$^{232}\text{Th}(n,2n\gamma)^{231}\text{Th}$

$^{232}\text{Th}(n,3n\gamma)^{230}\text{Th}$

γ -flash

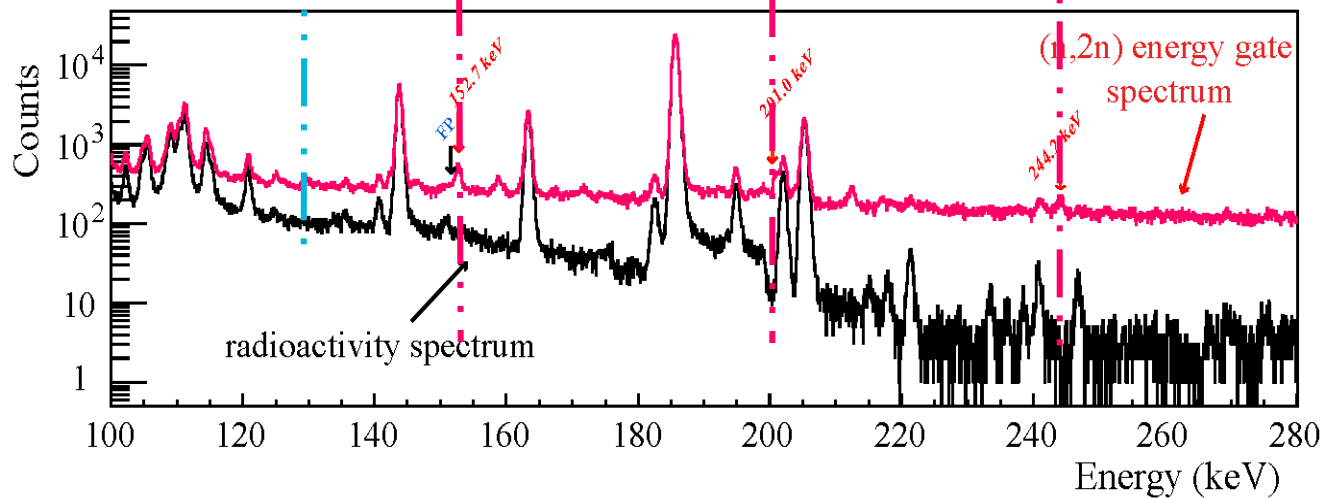
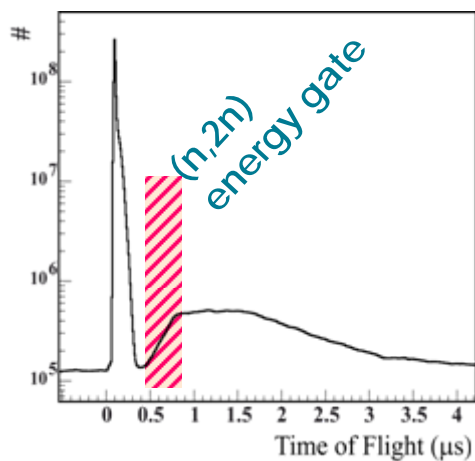
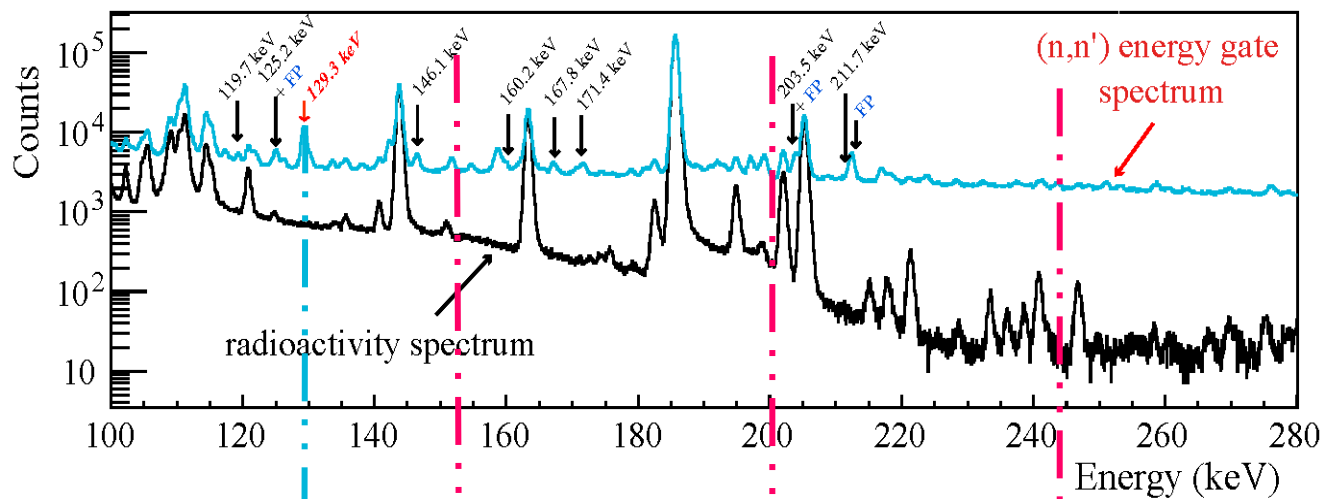
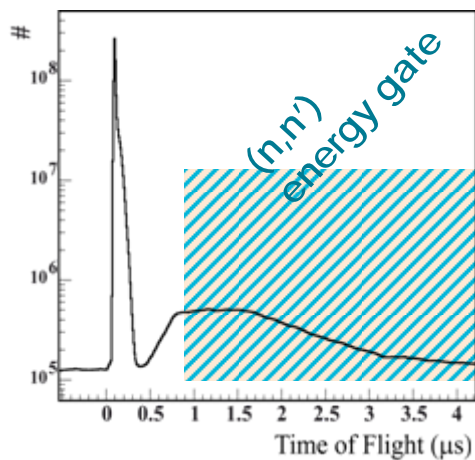
TOF spectrum

^{235}U case

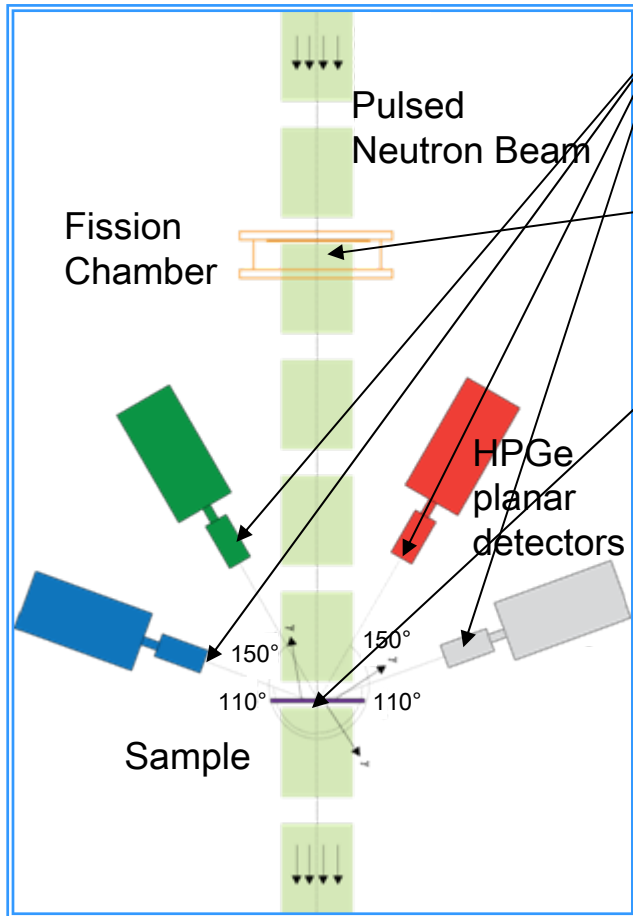


TOF and γ spectra

^{235}U case



Cross section calculation



$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) = \frac{n_{\text{det}}}{N_{\text{at}} \cdot \phi_n \cdot \varepsilon \cdot t}$$

- n_{det} : number of detected γ
- N_{at} : number of atoms in the sample
- ϕ_n : neutron flux
- ε : HPGe efficiency
- t : measurement time

Differential cross section can be expressed by a finite **sum of Legendre polynomials** :

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) = \frac{\sigma_{\text{tot}}}{4\pi} \sum_{i=0}^{\infty} a_i P_i(\cos \theta)$$

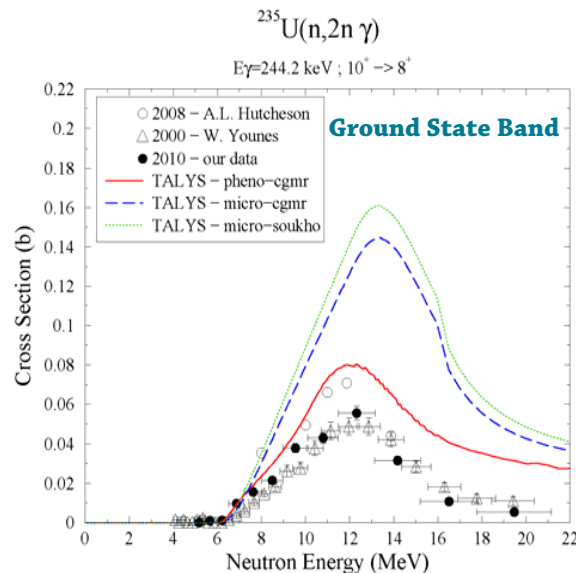
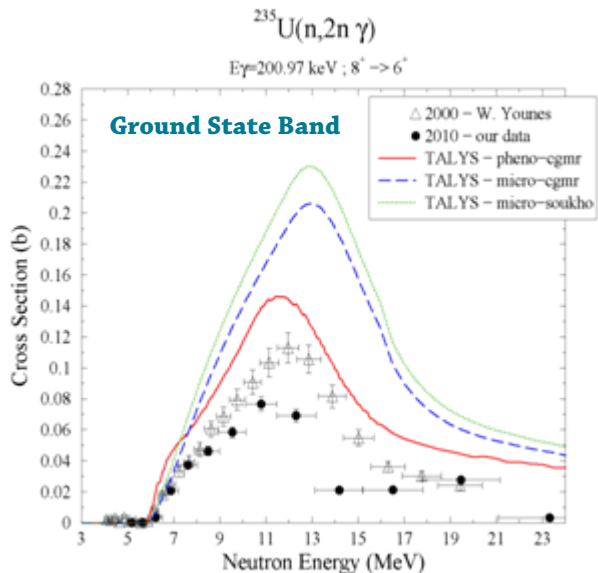
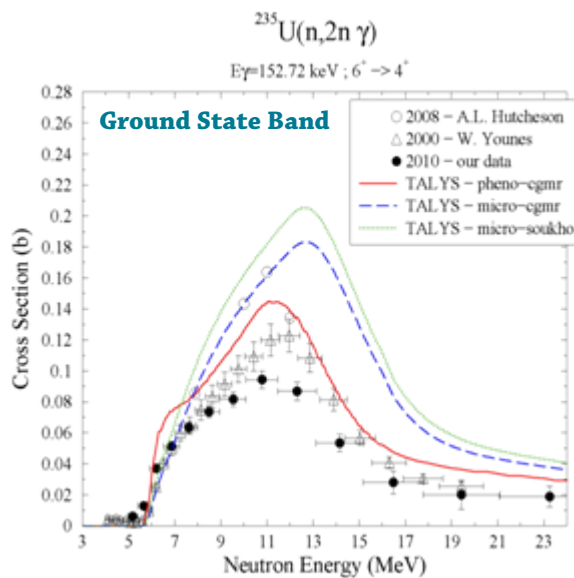
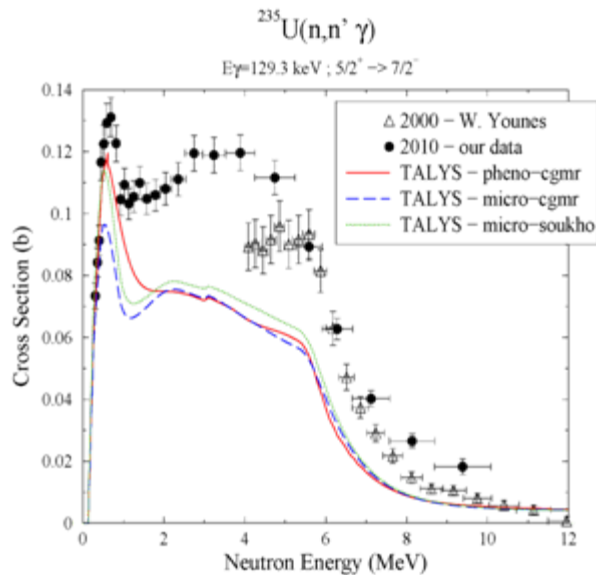
Measurement at the **polynomial nodes**
Gauss quadrature :

$$\sigma_{\text{tot}} = 4\pi \left[w_1^* \frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta_1^*) + w_2^* \frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta_2^*) \right]$$

$$w_1 = 0.3479 \text{ for } \theta_1 = 30.56^\circ \text{ or } 149.44^\circ \text{ and}$$

$$w_2 = 0.6571 \text{ for } \theta_2 = 70.12^\circ \text{ or } 109.88^\circ$$

$^{235}\text{U}(n,xn \gamma)^*$



exp data % Our exp data

- * discrepancies with Hutcheson data.
- * agreement with Younes data for the 244 keV γ transition but discrepancies at high neutron energies for the 2 other $(n,2n \gamma)$ transitions.

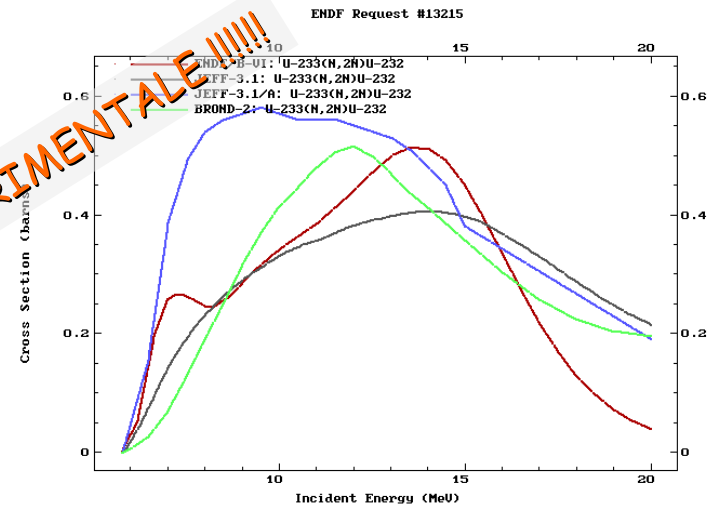
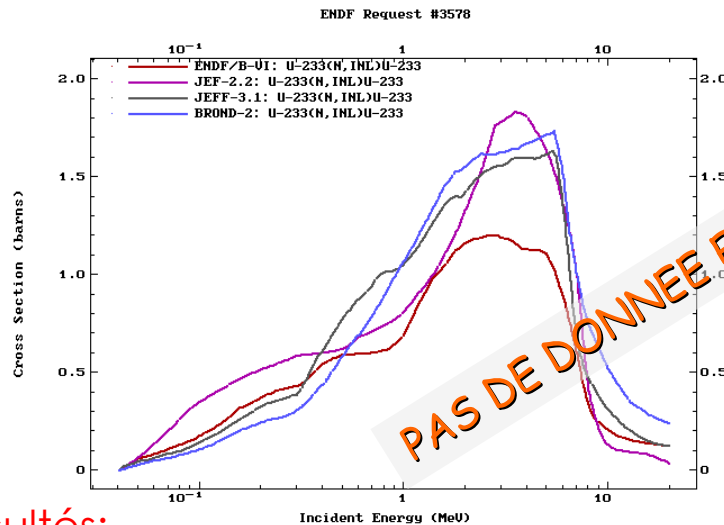
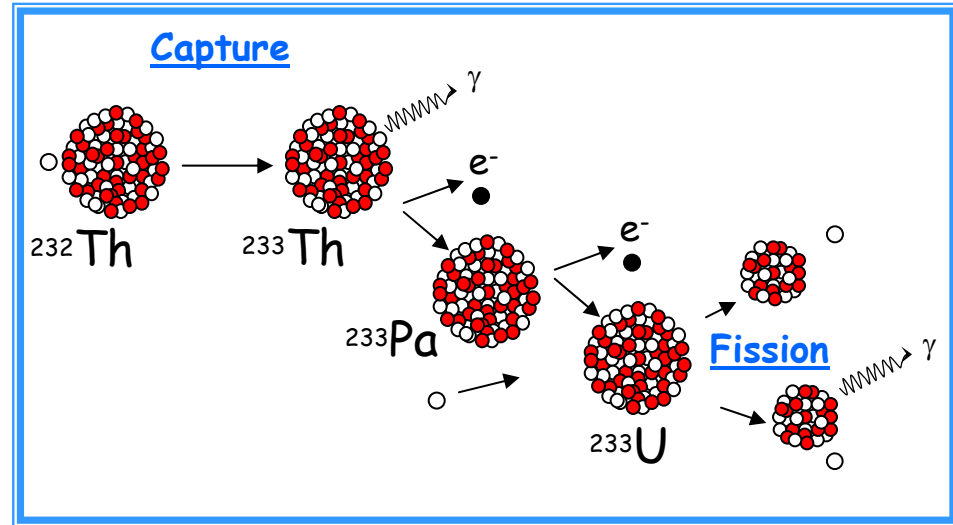
TALYS % Exp data

- * pheno-cgmr is the **best parameterization**.
- * $(n,n' \gamma)$: shape and amplitude are not well reproduced.
- * $(n,2n \gamma)$: quite good agreement in the shape but factor 1.5 to 1.9 in amplitude.

*J.C Thiry et al. paper submitted soon

Pourquoi cette mesure?

- Section efficace (n,2n) non négligeable par rapport à la fission
- $^{233}\text{U}(n,2n)^{232}\text{U}$ qui décroît vers le ^{208}Pb avec émission d'un γ de 2.6 MeV
- > estimation des blindages pour le cycle du thorium?
- > sous estimation de la production de ^{232}U dans le cycle actuel



PAS DE DONNEE EXPERIMENTALE!!!!!!

Difficultés:

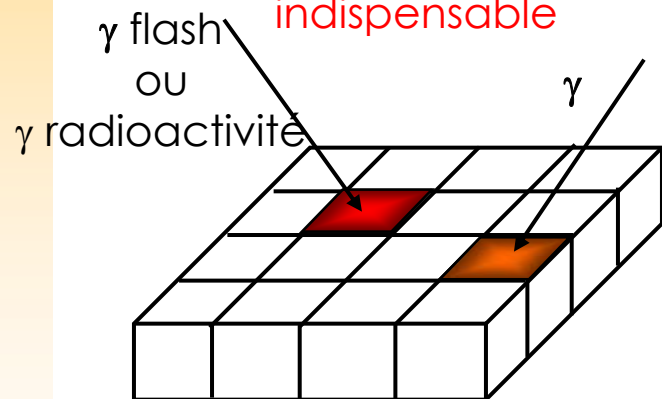
- ° Obtention de l'échantillon ^{233}U : faible quantité de matière? composition? Forme? conditionnement?...
- ° Problème de la radioactivité de la cible -> activité importante vue par les détecteurs

Compte tenu :

- ° du taux de **radioactivité** de la cible
- ° de la **faible quantité** de matière **à priori** disponible

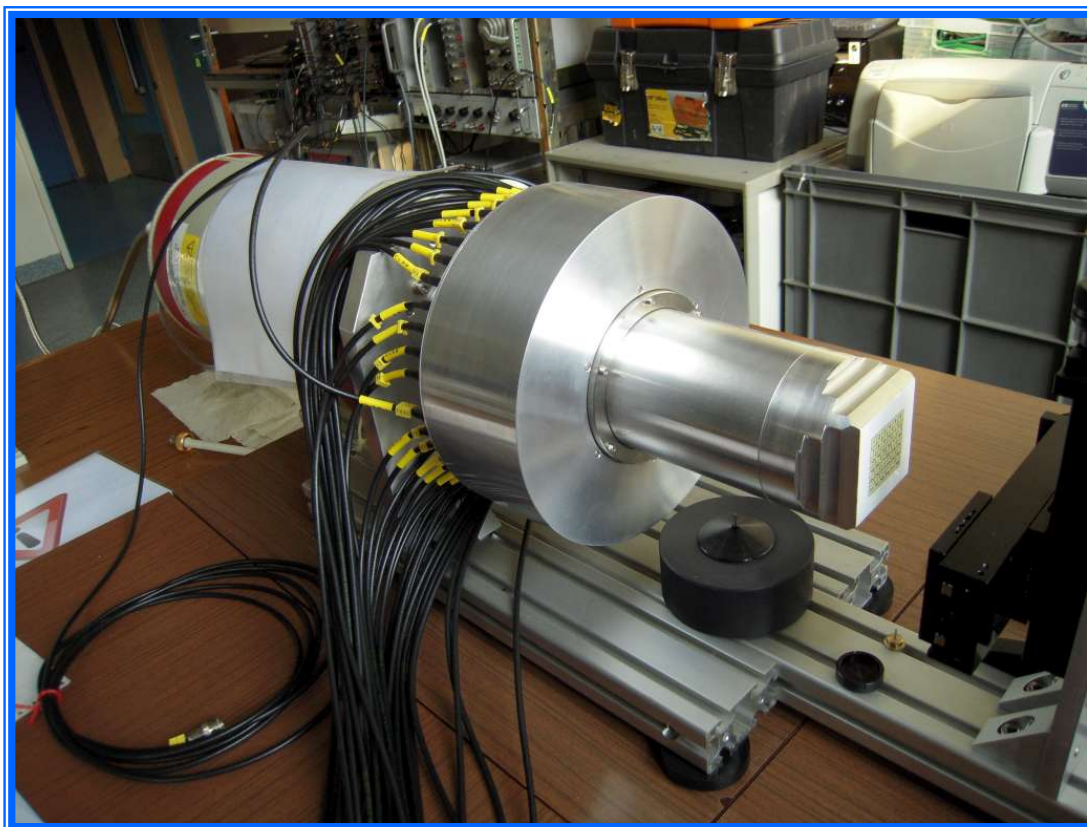


Pixellisation du détecteur
indispensable



Détecteur HPGe segmenté

36 pixels



Caractérisation commencée à l'IPHC : GEANT 4, MCNPX

Mesure de sections efficaces (n,xng) d'intérêt pour l'aval du cycle électronucléaire

Contact : **Philippe DESSAGNE** et **Maëlle KERVENO**

Téléphone : **03 88 10 62 75** et **03 88 10 62 81**

Email : philippe.dessagne@iphc.cnrs.fr

Email : maelle.kerveno@iphc.cnrs.fr

Laboratoire d'accueil :

Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC) / DRS – UMR 7178

23 rue du Loess, BP 28 – 67037 STRASBOURG CEDEX 2

Directrice : Christelle Roy

Dans le cadre de la mise au point des réacteurs nucléaires de 4ème génération dont certains pourront traiter les déchets à durée de vie longue, le Groupe de Recherches pour l'Aval du Cycle Electro-nucléaire (GRACE) se consacre à la mesure des sections efficaces de réactions (n,xng) sur des actinides.

Une partie des expériences est effectuée avec le faisceau de neutrons « blanc » de GELINA (IRMM Geel, Euratom), d'autres sont envisagées auprès de la future installation SPIRAL II (Ganil Caen) et des propositions sont faites pour l'utilisation de la ligne verticale auprès de nToF au CERN. Avec de tels faisceaux, toutes les méthodes pour étudier les réactions induites par neutrons nécessitent la détermination de leur temps de vol. La spectroscopie g en ligne, utilisée pour observer les réactions (n,xng), requiert avant tout une bonne résolution en énergie pour les particules gammas et neutrons. De plus l'existence d'un flash g créé en même temps que les neutrons demande au système de prise de données un temps mort très faible de façon à pouvoir détecter les neutrons de haute énergie. L'équipe a réussi à concilier ces trois impératifs en mettant au point une nouvelle méthode basée sur la digitalisation et le traitement numérique du signal issu des divers détecteurs utilisés.

Des études sur les noyaux ^{235}U et ^{232}Th ont été menées à Geel et celles sur ^{238}U sont actuellement en cours (programme européen ANDES). Ces expériences servent à préparer celles sur l'isotope ^{233}U et plus particulièrement à étudier la réaction $^{233}\text{U}(n,2n)$ dont l'intérêt est capital pour le cycle du Thorium mais également pour le démantèlement des réacteurs actuels. Des détecteurs Ge segmentés seront nécessaires du fait de la forte activité de ^{233}U et de la présence du flash g qui accompagne le faisceau de neutrons. Pour cela un nouveau dispositif expérimental en grande partie financé dans le cadre d'une ANR est en cours de mise au point. Par ailleurs, des mesures sur d'autres actinides sont également prévues. Un soin tout particulier est apporté à la détermination des sections efficaces avec la plus grande précision possible.

Ce travail de thèse offre au candidat la possibilité d'acquérir des compétences dans les domaines de l'instrumentation nucléaire, des simulations de processus physiques, des méthodes d'analyse de données et enfin dans l'évaluation des résultats en regard des prédictions théoriques. L'étudiant aura donc l'opportunité de prendre en charge l'intégralité de la réalisation d'expériences en physique nucléaire.

Travail autour du détecteur segmenté :

- instrumentation nucléaire (en particulier pour le compteur Ge segmenté)
- des simulations de processus physique (GEANT4, MCNPX)
- des méthodes d'analyse de données (C++, Root)
- l'évaluation des résultats en regard des prédictions théoriques.



<http://www.iphc.cnrs.fr/-GRACE-.html>

N'hésitez pas à venir discuter avec nous





A. Bacquias, Ph. Dessagne, M. Kerveno, G.Rudolf



Strasbourg, France



A. Plompen, J.C. Drohé, M. Nyman



Geel, Belgium



C. Borcea, A.L. Negret



Bucharest, Romania



Théoriciens CEA/DAM; Evalueurs CEA/Cadarache

