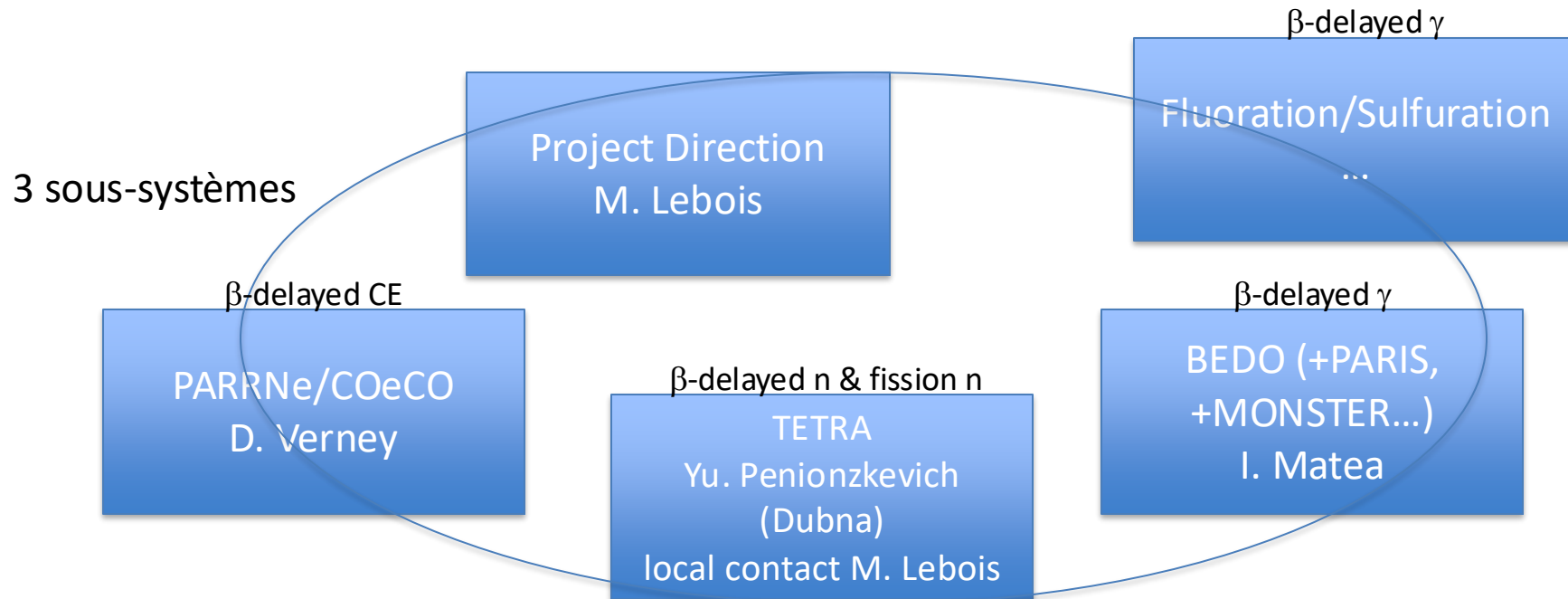


Journée EAP ISOL Coordonnées MP DESIR/BESTIOL

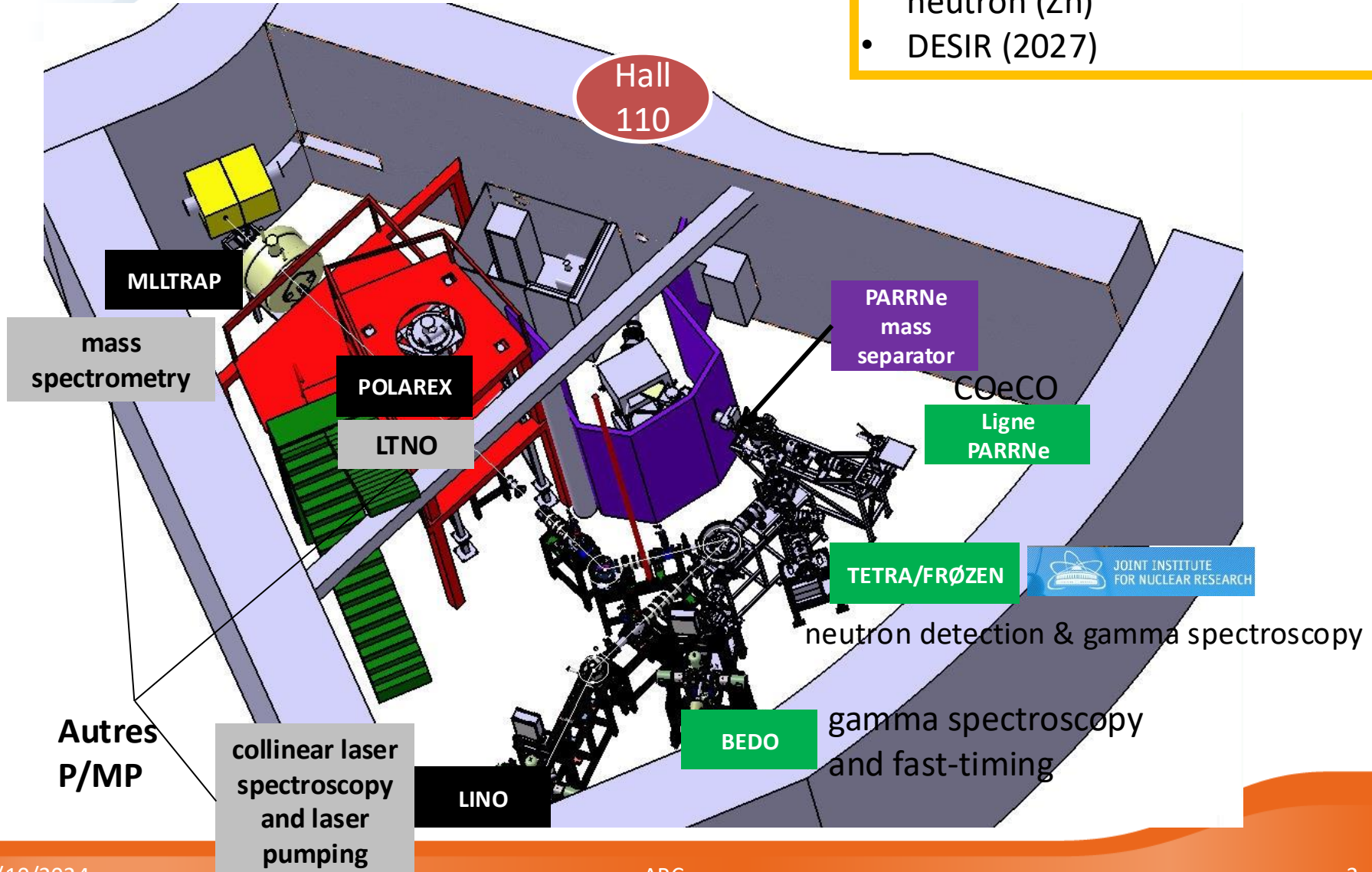
08/10/2024

Faisceaux masses intermédiaires riches en neutrons – photo-fission

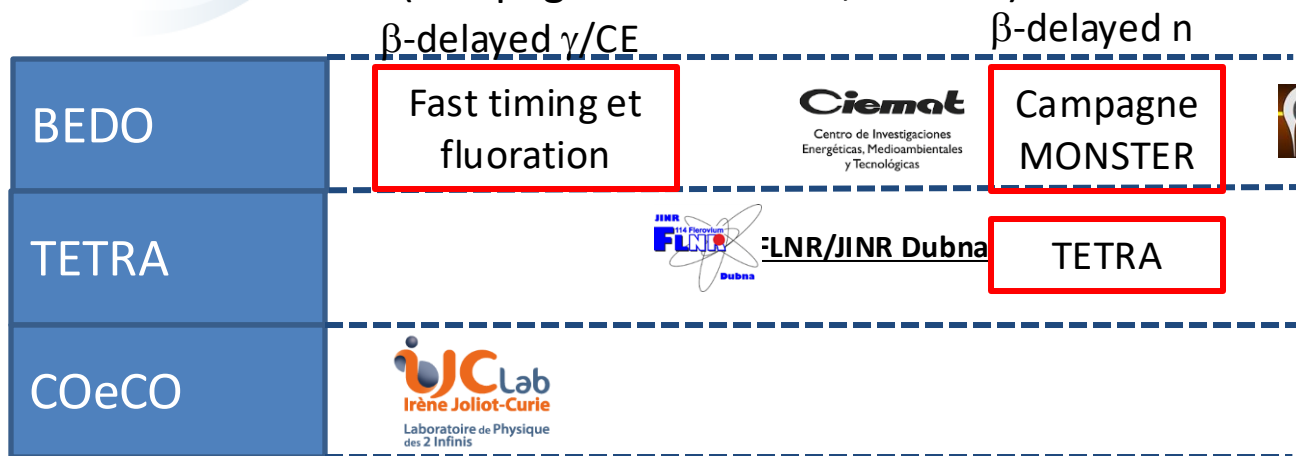


Périmètre « cible » (BESTIOL@DESIR) : β^+ -delayed spectroscopy, TAGS, β -p, $0^+ \rightarrow 0^+$
 Faisceaux SPIRAL1 (plutôt légers et déficients en neutrons) et S3 (N=Z)

- Nouveaux faisceaux riches en neutron (Zn)
- DESIR (2027)



les laboratoires partenaires fournissent des détecteurs ponctuellement (campagnes MONSTER, PARIS...) ou de manière semi-permanente (TETRA)



BESTIOL =
activité β -decay à ALTO



BEDO : β -delayed γ , Fast timing
PARRNe/COeCO : β -delayed CE
TETRA : β -delayed n + FRØZEN

Budget : AP + IUF + Fellow des 2 infinis + ERM (UPSay)

Liste des membres du projet :

8 chercheurs

- I. Deloncle
- C. Gaulard
- F. Le Blanc
- M. Lebois
- I. Matea
- B. Roussière
- D. Verney

2+ ITs

- J. Guillot
- M. Cheikh Mhamed
- A. Segovia
- P. Le Jeannic
- Staff ALTO

6 doctorants

- E. Cantacuzène
- W. Dong
- M. Mehdi
- B. Perville Ritter
- M. Benhatchi



- CURIEN Dominique IPHC Ch
- DIDIERJEAN François IPHC IT
- DUCHENE Gilbert IPHC Ch

1 post-doc

- L. Plagnol

~5 stagiaires/an

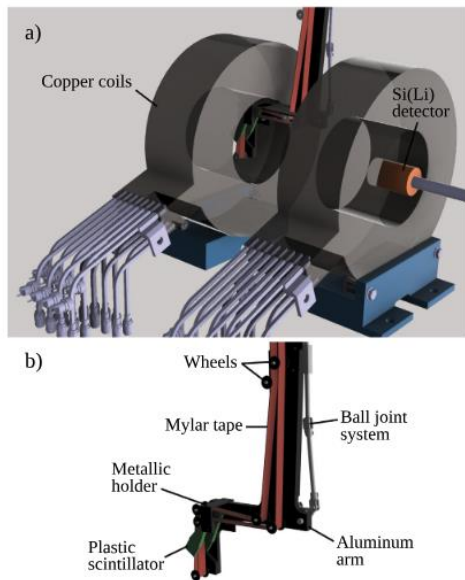


Fig. 1. CAD drawing of the interior of the main chamber – (a) – and close-up on the internal parts of COeCO. The Faraday cup held at the end of the ball joint system is behind the aluminum arm.

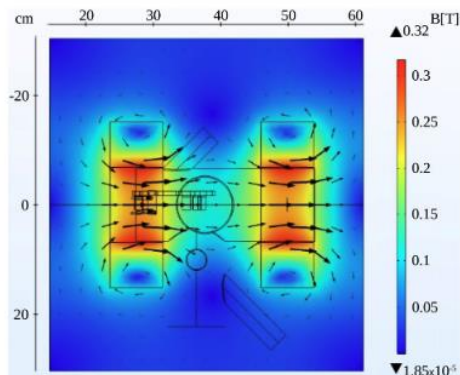


Fig. 6. Two-dimensional projection of the magnetic field strength induced by the two coils simulated using COMSOL[®]. The field is symmetric by rotation around the axis formed by the center of both coils.

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 1064 (2024) 169345

Contents lists available at ScienceDirect

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima



ELSEVIER



Full Length Article

COeCO: A new β -delayed conversion-electron spectroscopy setup for low-energy ISOL beams at the ALTO facility in Orsay

G. Tocabens^{a,*}, C. Delafosse^a, D. Verney^a, E. Cantacuz ne^a, M. Cheikh Mhamed^a, I. Deloncle^a, F. Didierjean^b, W. Dong^a, C. Gaulard^a, B. Genolini^a, J. Guillot^a, F. Hammache^a, S. Harrouz^a, F. Ibrahim^a, H. Jacob^a, M. Kaci^a, A. de Lara^a, N. de S r ville^a, F. Le Blanc^a, M. Lebois^{a,c}, R. Lozeva^a, I. Matea^a, B. Roussi re^a, A. Segovia-Miranda^a, R. Tho r^a

^a Universit  Paris-Saclay, CNRS/IN2P3, IJCLab, 91405, Orsay, France

^b Universit  de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, 67000, Strasbourg, France

^c Institut Universitaire de France, 1 Rue Descartes, 75005, Paris, France

ARTICLE INFO

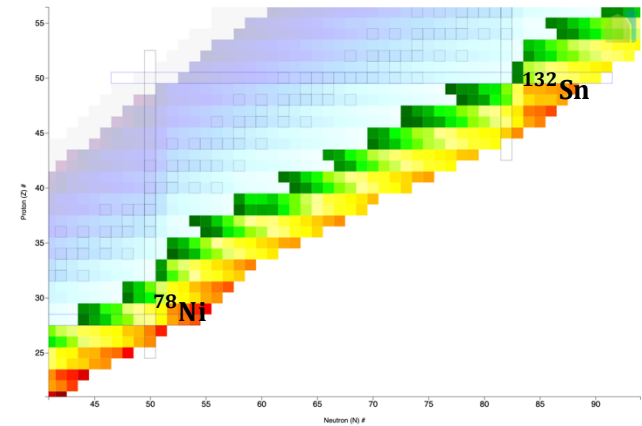
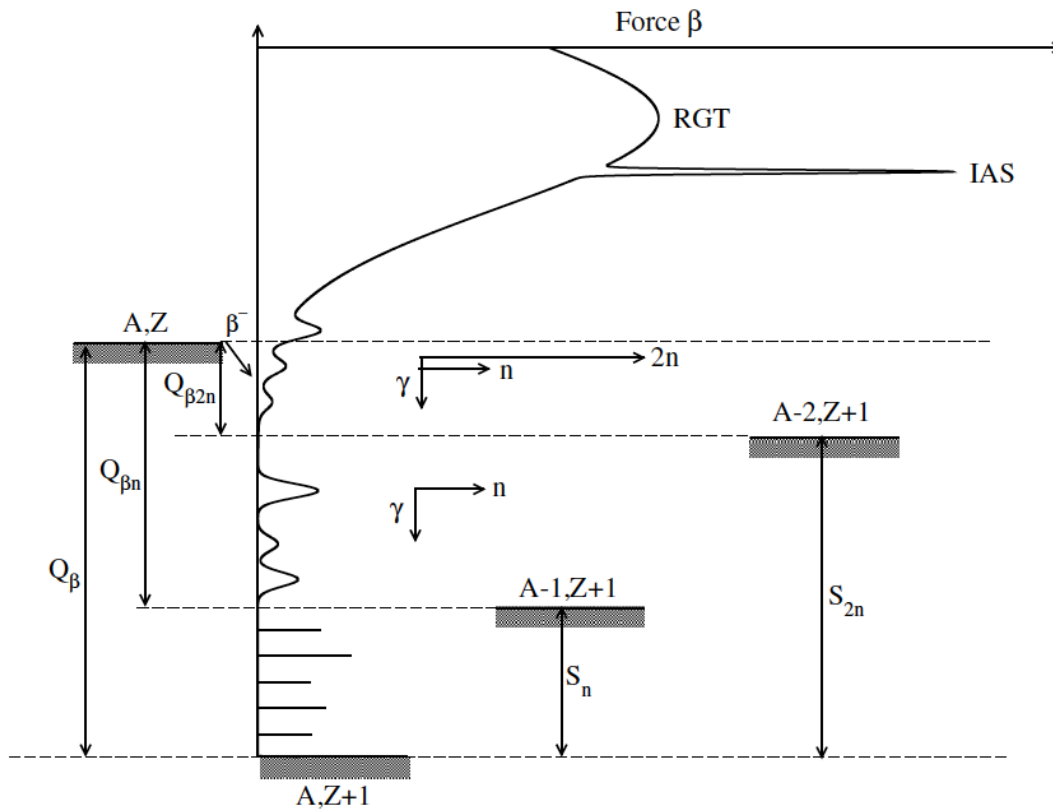
Keywords:
Conversion-electron spectroscopy
Magnetic transporter
 β -decay
Half-life measurements

ABSTRACT

A new β -decay station, CONversion electrons Chasing at Orsay (COeCO), has been developed at ALTO to perform conversion electron spectroscopy studies of neutron-rich nuclei produced by photo-fission of a uranium carbide target. It is based on the collection of a low-energy ISOL beam on a mylar tape, and the transportation of the electrons emitted by the produced radioactive source through a magnetic field induced by two copper coils, towards a cooled Si(Li) detector. In this article, a detailed description of the new decay station and its components is given. The magnetic field induced by the coils was measured and compared to simulations performed with the COMSOL[®] software. The efficiency of the detection setup was estimated using a ²⁰⁷Bi and a ¹⁵²Eu source as an off-line commissioning. Finally, the results obtained with a ⁹⁶Rb radioactive beam for the on-line commissioning are presented.

Ga isotopes β -n β -2n decay

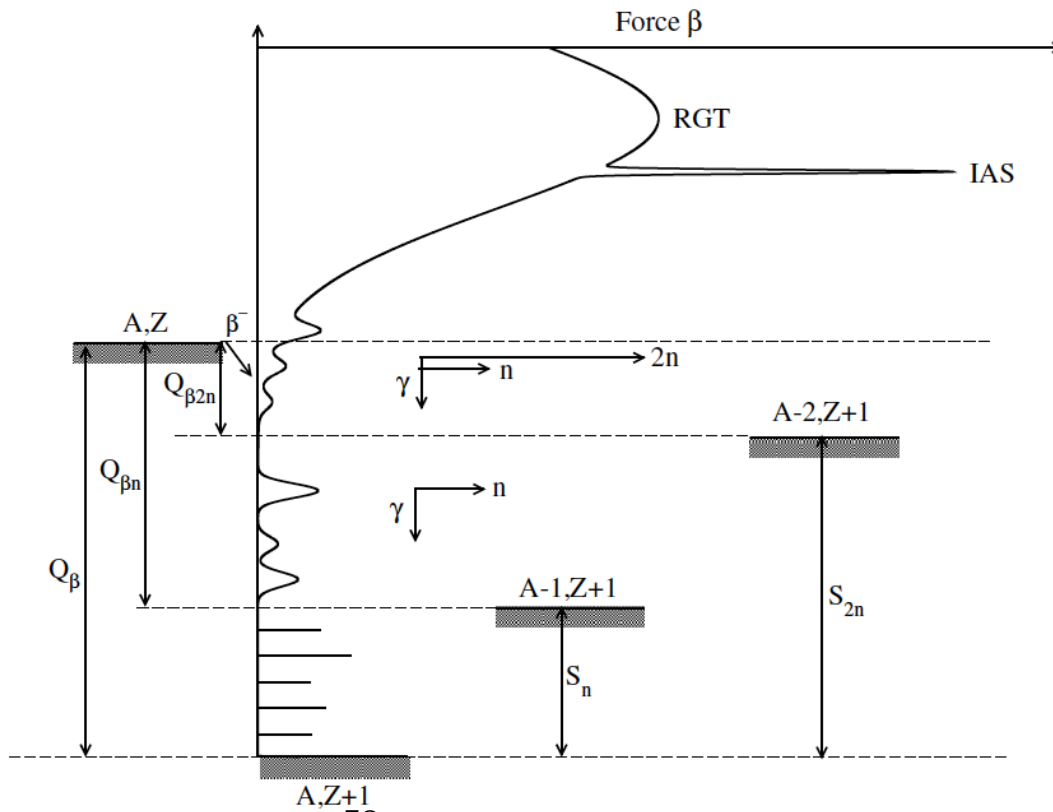
Thèse E. Cantacuzène



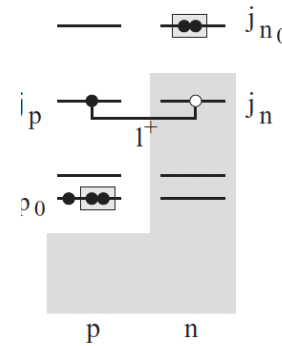
Beta-delayed neutron precursors

- $Q_{\beta-n} = Q_{\beta} - S_n$: Energie disponible pour les neutrons
- P_n : Probabilité d'émission d'au moins un neutron par le noyau fils après la décroissance β

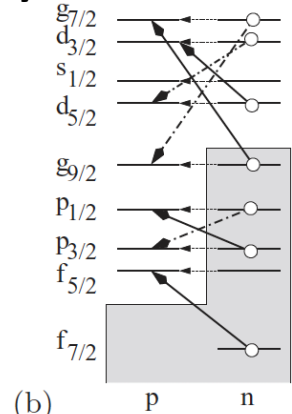
Ga isotopes β -n β -2n decay
Thèse E. Cantacuzène



Transition de type Gamow-Teller
« Doorway »



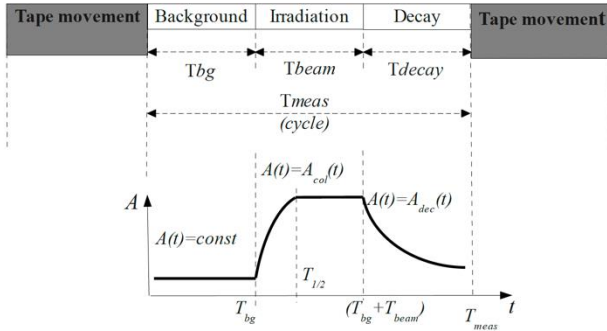
$\Delta J = 0, 1$



(b) $\Delta L = 0$

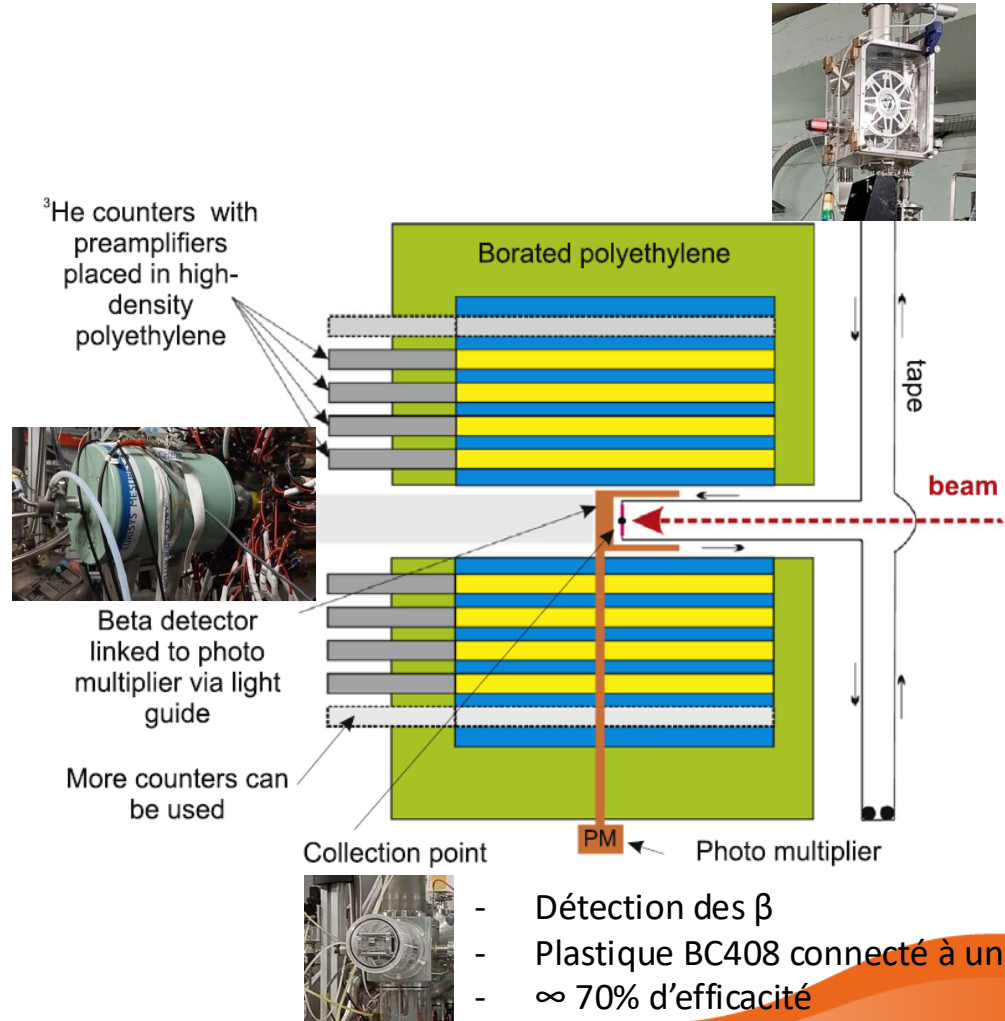
- Proximité au ^{78}Ni (noyaux doublement magique)
- Grande probabilité d'émission de 2 neutrons après la décroissance β
- 1^{ère} approche pour expliquer l'émission de deux neutrons avec des « doorway states »
- Importance pour le R-process
- Rappel: $P_n \equiv P_{1n} + P_{2n} + \dots + P_{in}$

- Faisceau implanté sur bande de mylar
- Pas de contamination des descendants (bande déroulante)



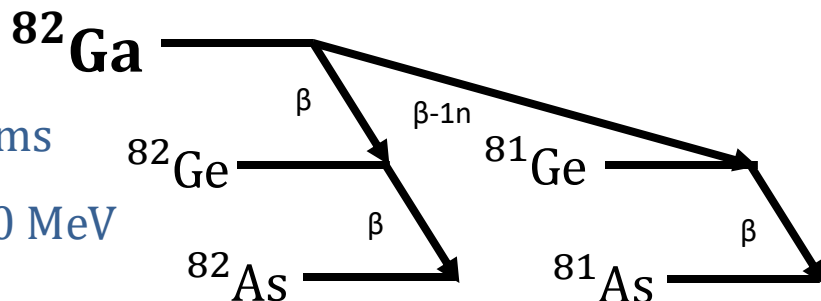
- Détection des γ
- Géométrie Coaxiale
- A 2 cm du point d'implantation
- 0.66% d'efficiency @ 964.1 keV (^{152}Eu)
- 2.4 keV de résolution (FWHM) @ 964.1 keV

- Détection des neutrons
- Modération des neutrons avec HDPE
- 80 cellules gazeuses d' ^3He
$$n + ^3\text{He} \rightarrow p + ^3\text{H} + 765 \text{ keV}$$
- ~ 52% d'efficacité
- Pas d'information en énergie



- Détection des β
- Plastique BC408 connecté à un PM
- ∞ 70% d'efficacité

Fits avec eq. de Bateman



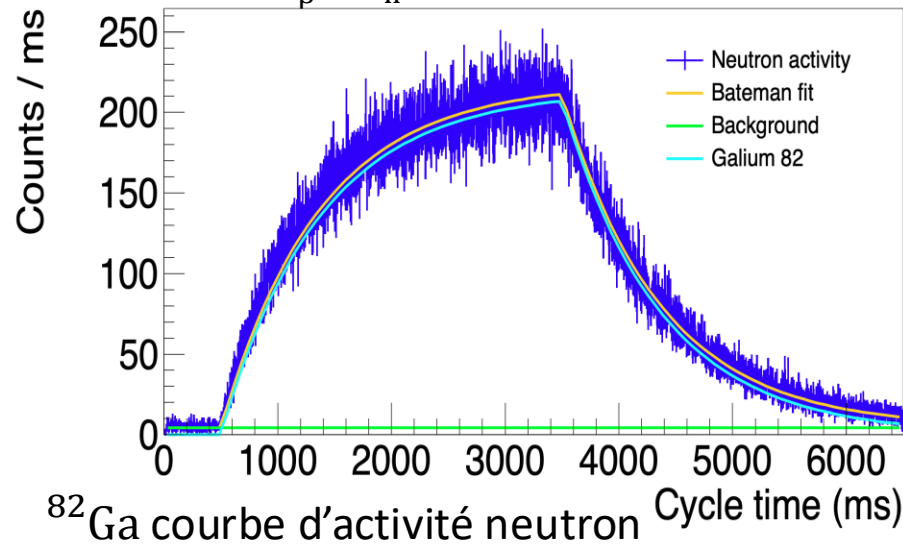
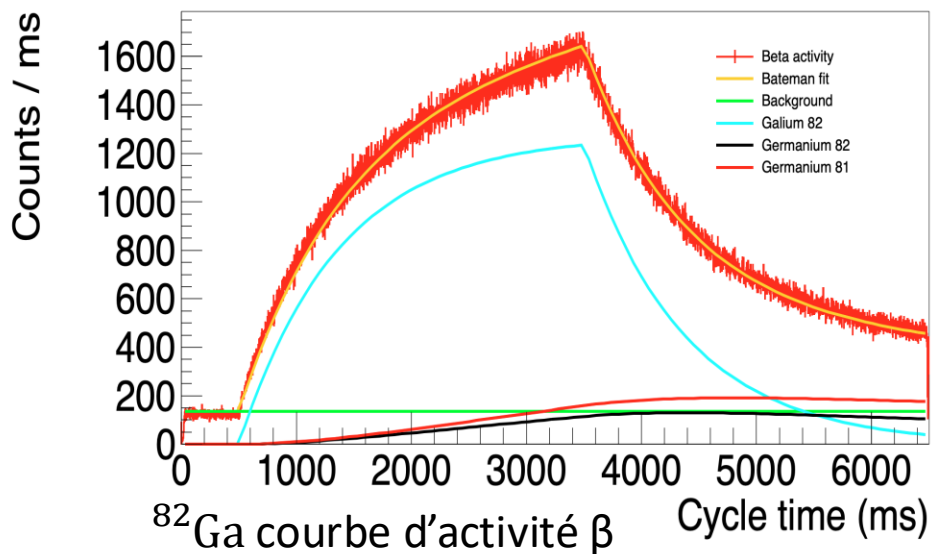
$T_{1/2} = 599 \text{ ms}$

$Q_{\beta-1n} = 5.290 \text{ MeV}$

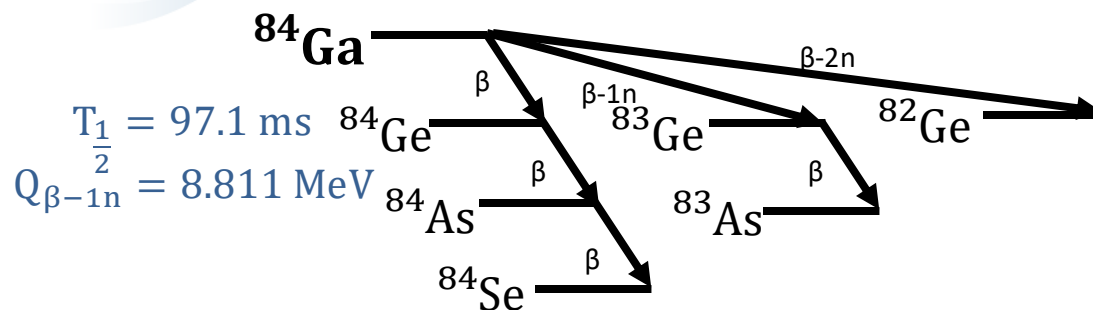
$N_{\beta}(^{82}\text{Ga})$	3791000 (2000)
$N_n(^{82}\text{Ga})$	635700 (800)

$P_n = P_{1n} = 22.6 \pm 0.1 \%$

$$P_{1n} = \frac{N_{1n}}{N_{\beta}} \times \frac{\epsilon_{\beta}}{\epsilon_n}$$

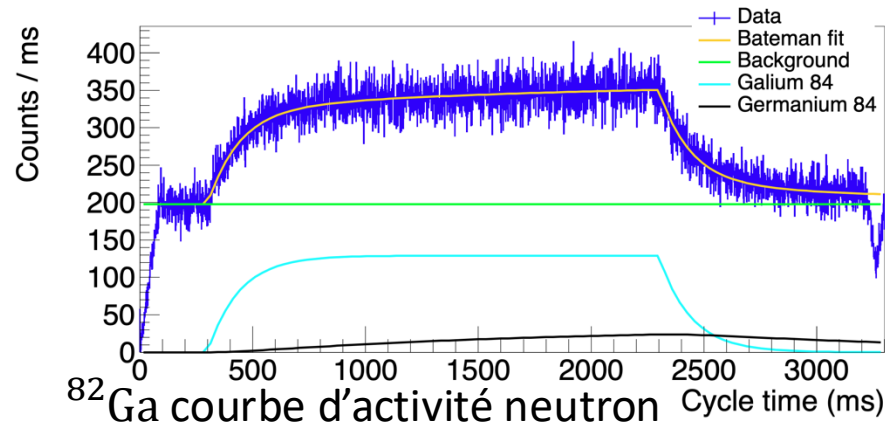
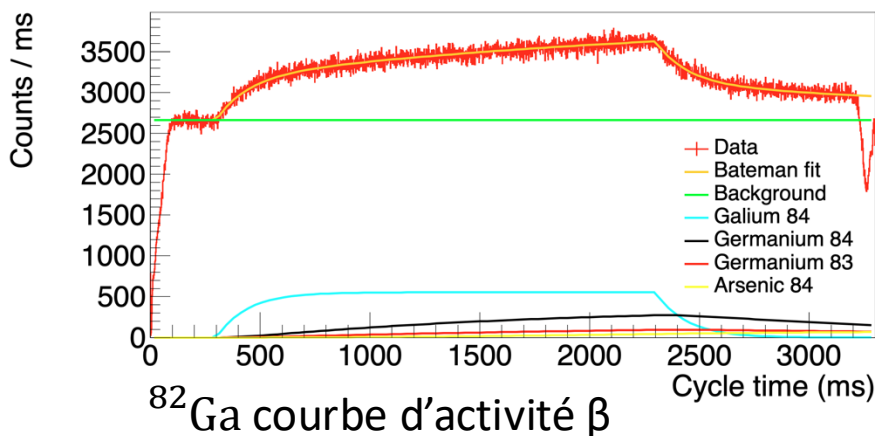


Fits avec eq. de Bateman

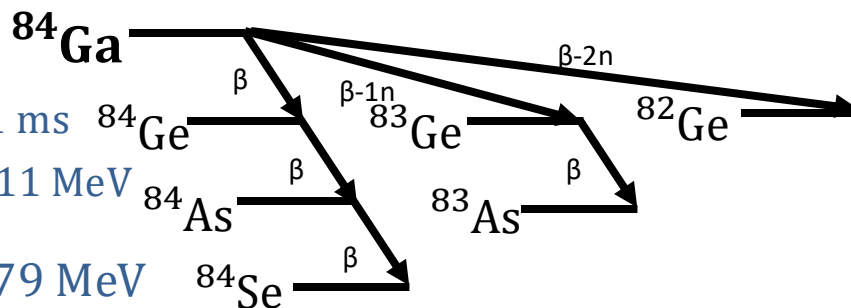


$N_{\beta}(^{84}\text{Ga})$	1107000 (1000)
$N_n(^{84}\text{Ga})$	258100 (500)

$\langle n \rangle^* = 35.2 \pm 1.4\%$



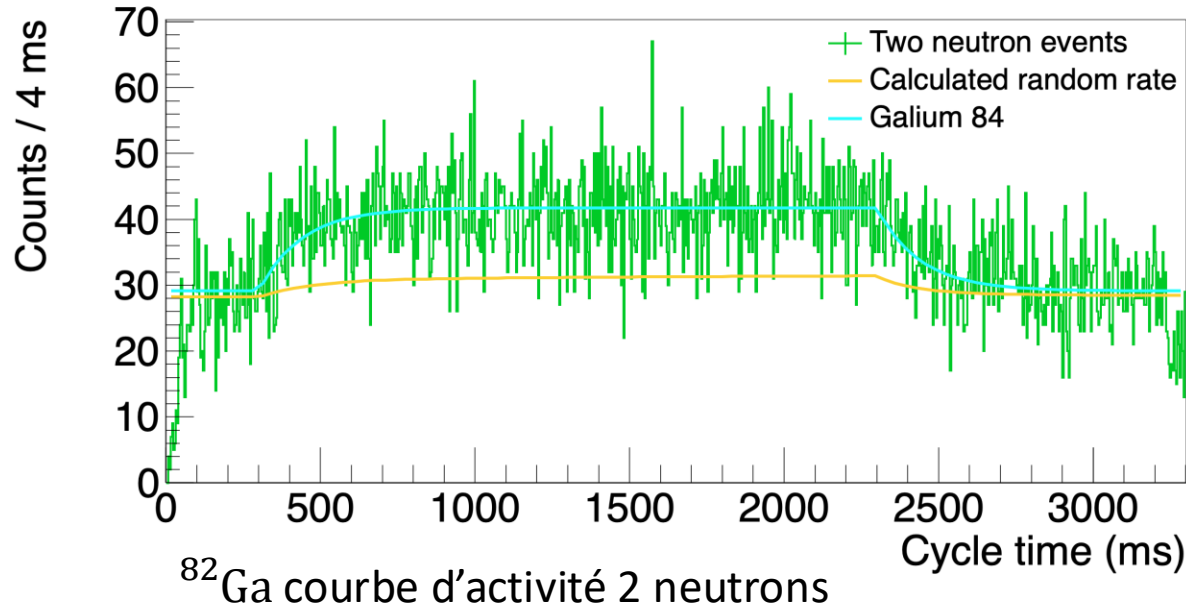
Fits avec eq. de Bateman



$T_{1/2} = 97.1 \text{ ms}$
 $Q_{\beta-1n} = 8.811 \text{ MeV}$

$Q_{\beta-2n} = 5.179 \text{ MeV}$

$N_{\beta}(^{84}\text{Ga})$	1107000 (1000)
$N_n(^{84}\text{Ga})$	258100 (500)
$N_{2n}(^{84}\text{Ga})$	5540 (70)



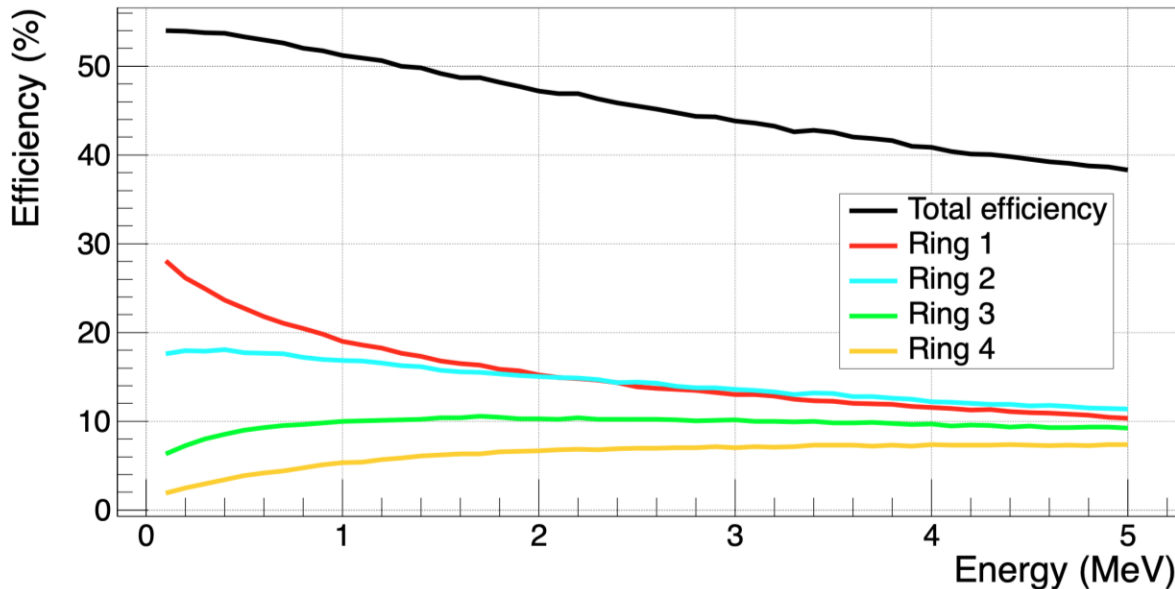
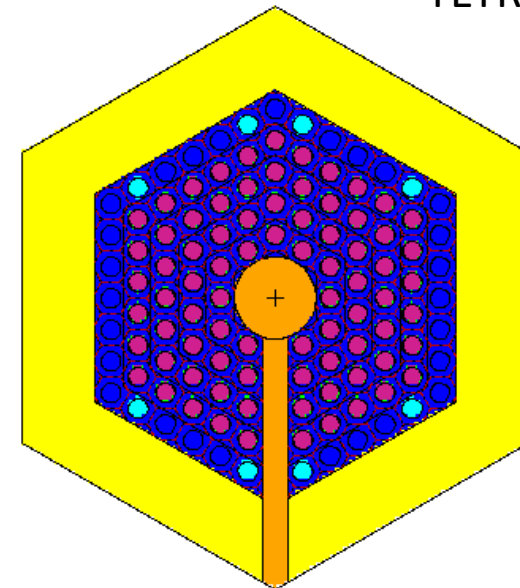
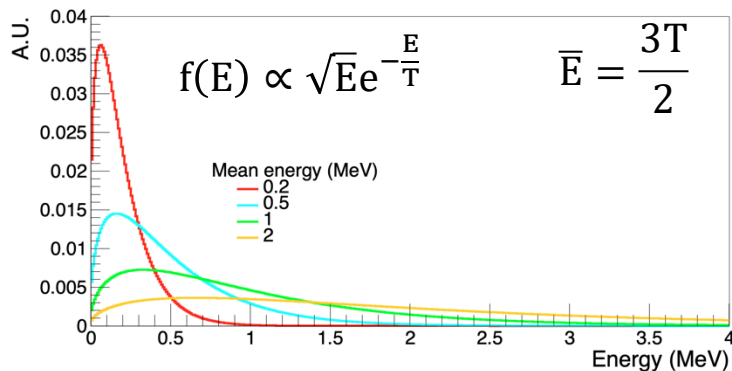
$$P_{2n} = 1.6 \pm 0.2\%$$

$$P_n = P_{1n} + P_{2n} = 34.4 \pm 1.4\%$$

Simulation MCNP de TETRA

TETRA

Benchmark sur ^{252}Cf



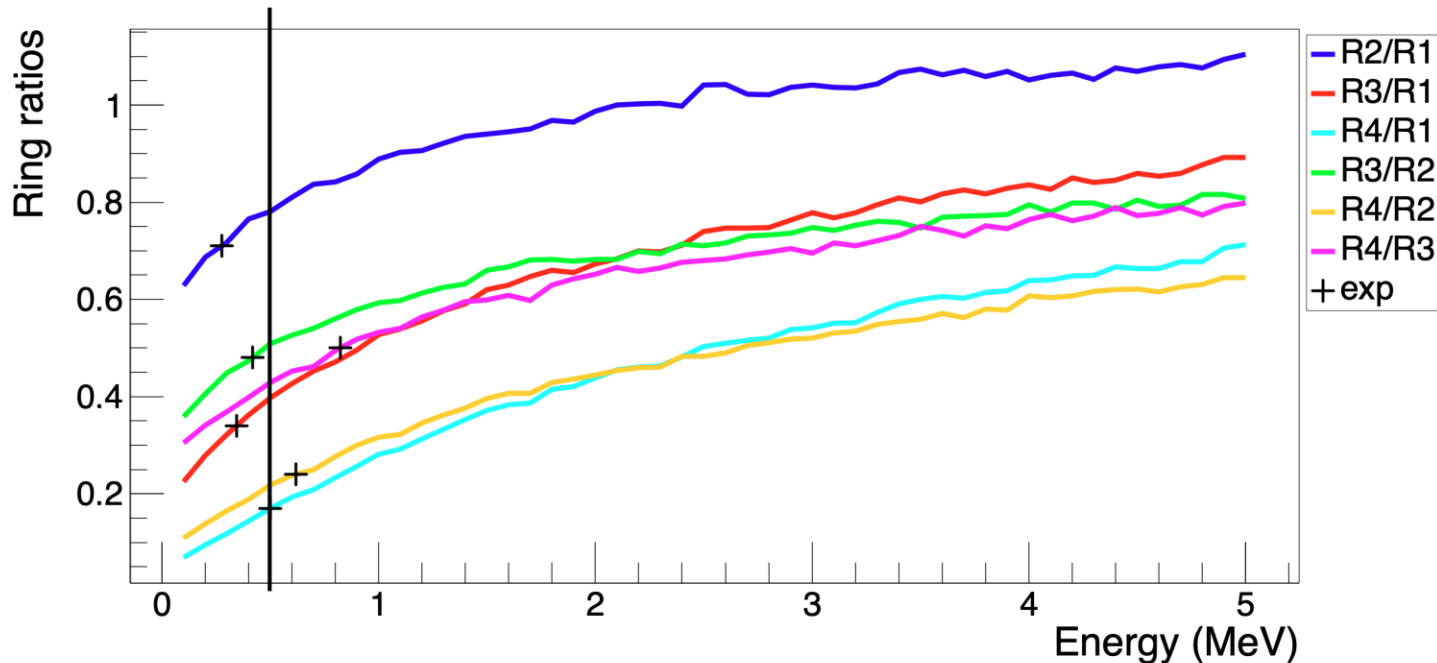
- Efficacité TETRA correctement simulée
- Pénétration des Neutrons augment avec leur énergie

^{82}Ga

	R2/R1	R3/R1	R4/R1	R3/R2	R4/R2	R4/R3
Ring Ratio (exp)	0.71	0.34	0.17	0.48	0.24	0.50
Energy (MeV)	0.28	0.345	0.50	0.42	0.62	0.82

$\bar{E} = 0.50 \text{ MeV} \quad D = 0.12$

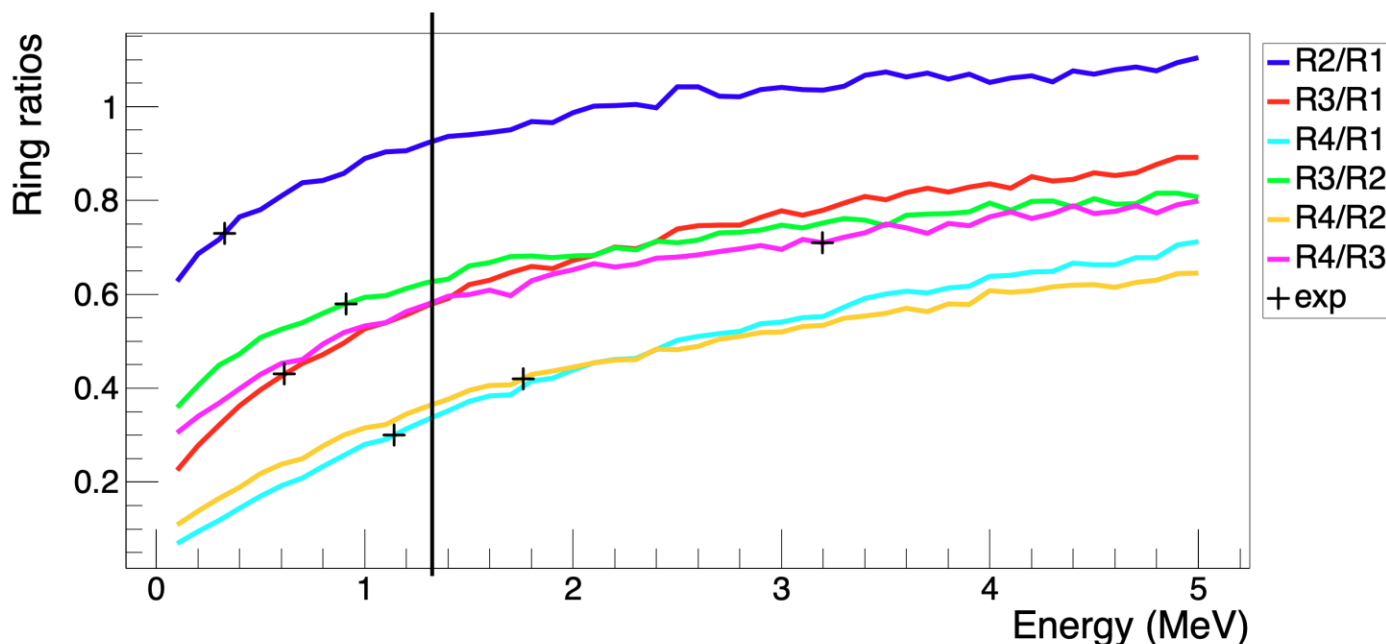
- Distribution en énergie des neutrons inconnue.
- Moins Maxwellienne que ^{252}Cf

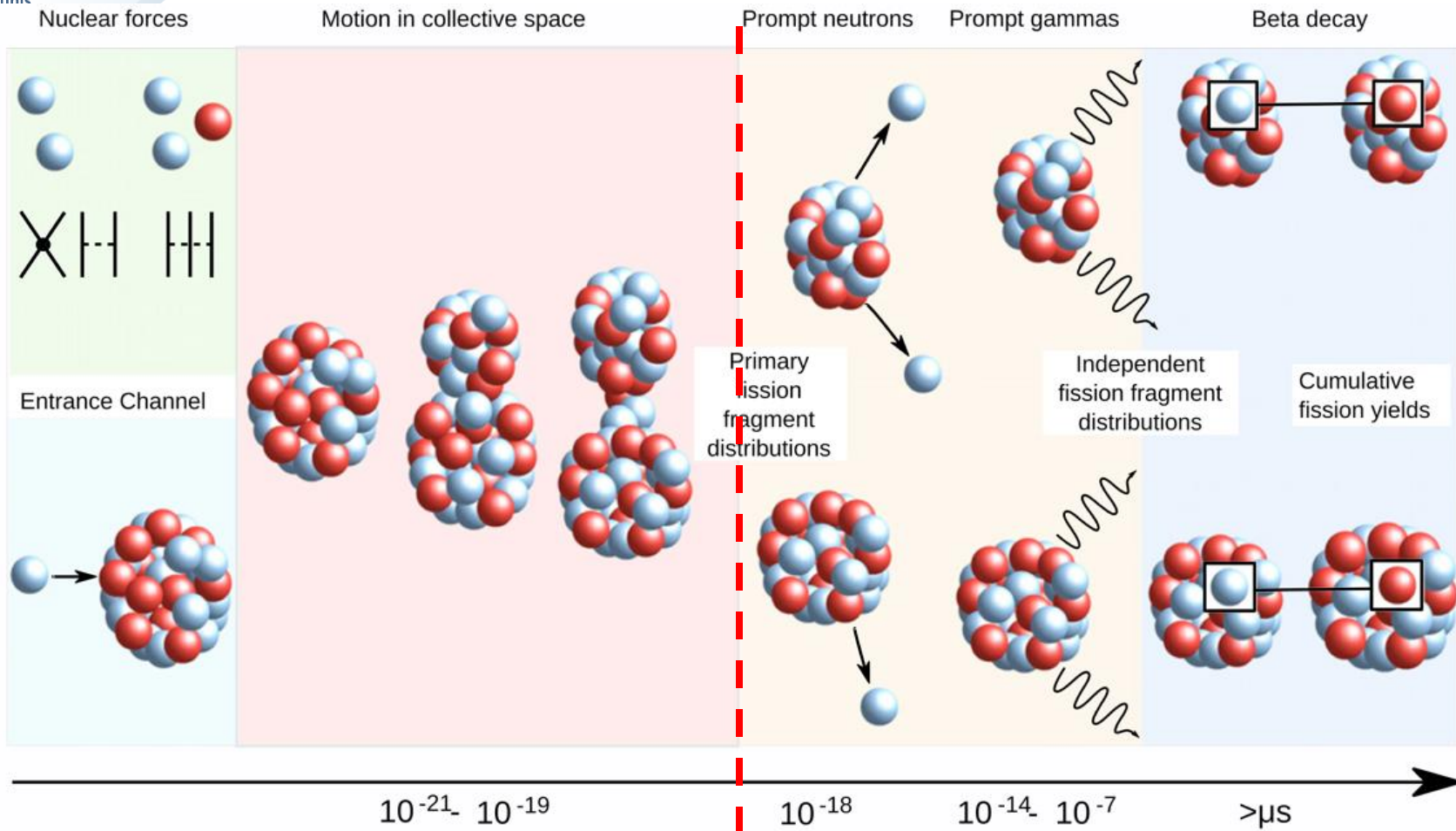


^{84}Ga	R2/R1	R3/R1	R4/R1	R3/R2	R4/R2	R4/R3
Ring Ratio (exp)	0.73	0.43	0.3	0.58	0.42	0.71
Energy (MeV)	0.33	0.61	1.1	0.91	1.8	3.2

$$\bar{E} = 1.3 \text{ MeV} \quad D = 0.29$$

- Distribution en énergie des neutrons inconnue.
- Pas du tout Maxwellienne





M. Bender et al., *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 47 (2020), 113002.

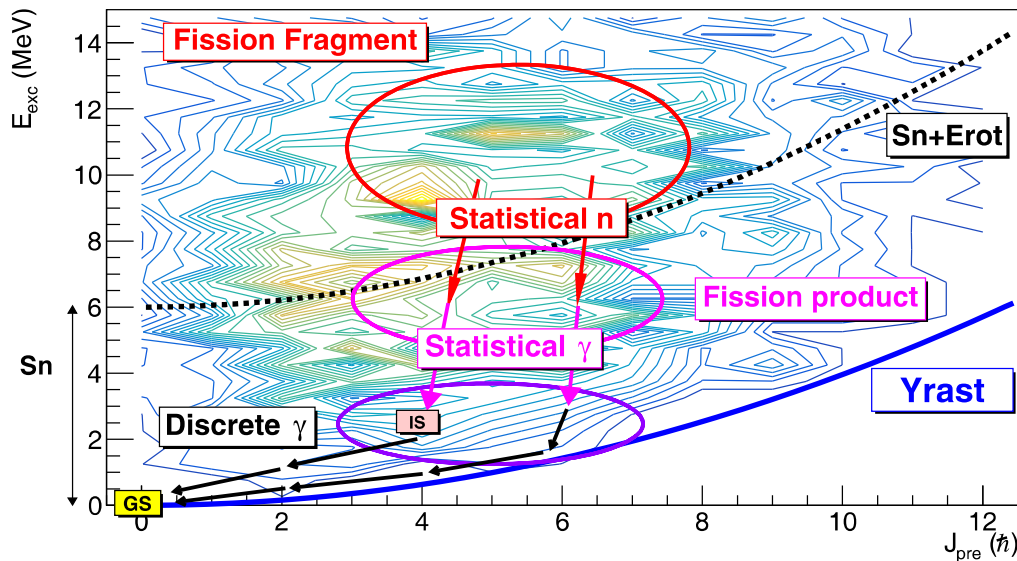
Energie d'excitation moyenne des FF: 20 MeV

Moment angulaire moyen des FF: 7-8 \hbar

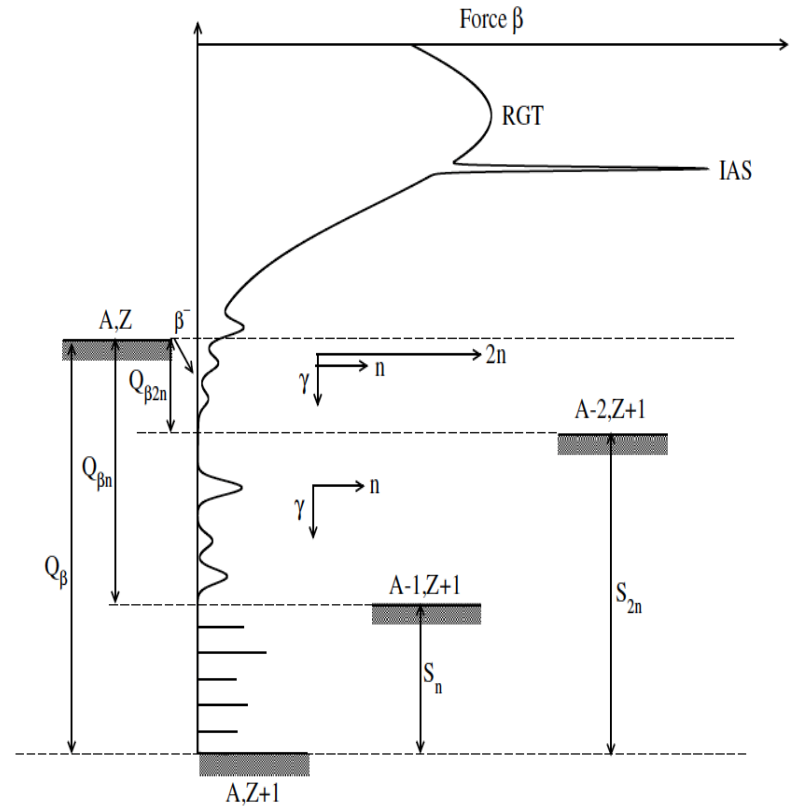
- ↳ Neutrons: porteurs d'énergie
- ↳ γ : porteurs de moment angulaire

J.N. Wilson et al., Nature **590** (2021), 566–570

Randrup & Vogt, *PRL* **127**, (2021) 062502

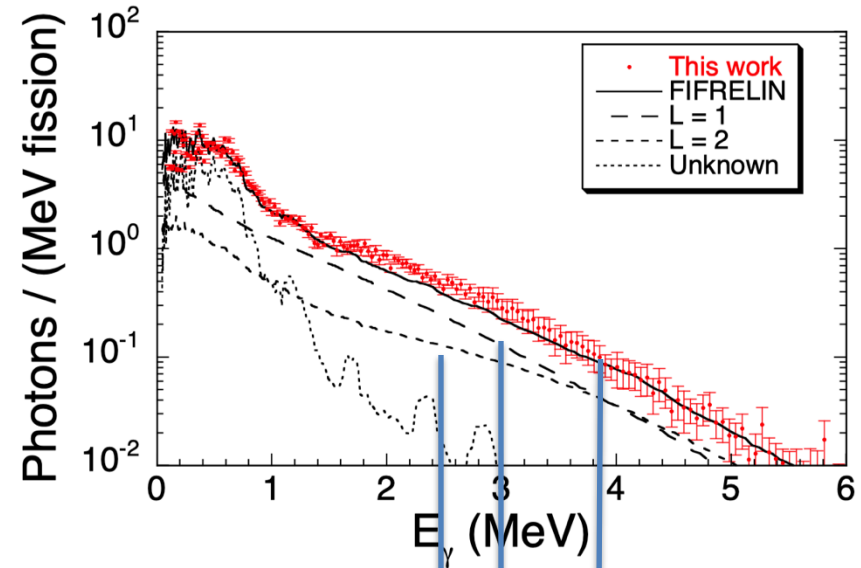
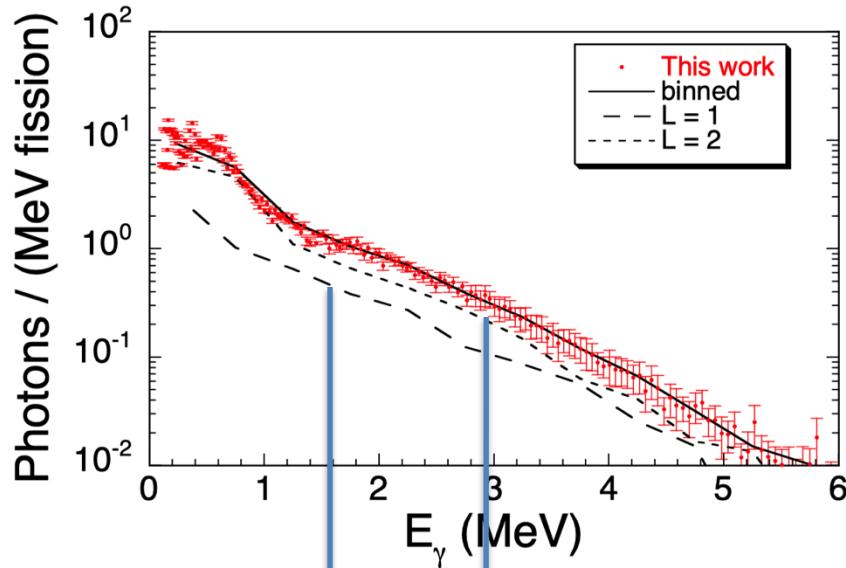


A. Al-Adili, V. Rakopoulos, and A. Solders, *Eur. Phys. J. A* **55**, p. 61 (2019).



FRØZEN

Fission Reaction at Orsay with Zero Emission of Neutron



$$\overline{M}_\gamma = \int N_\gamma(E_\gamma) dE_\gamma$$

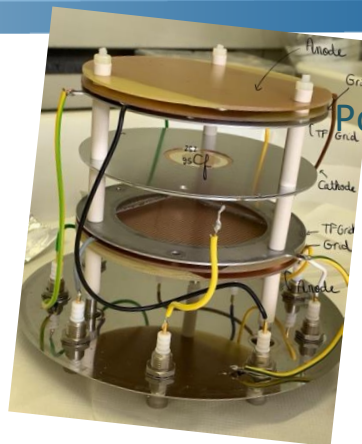
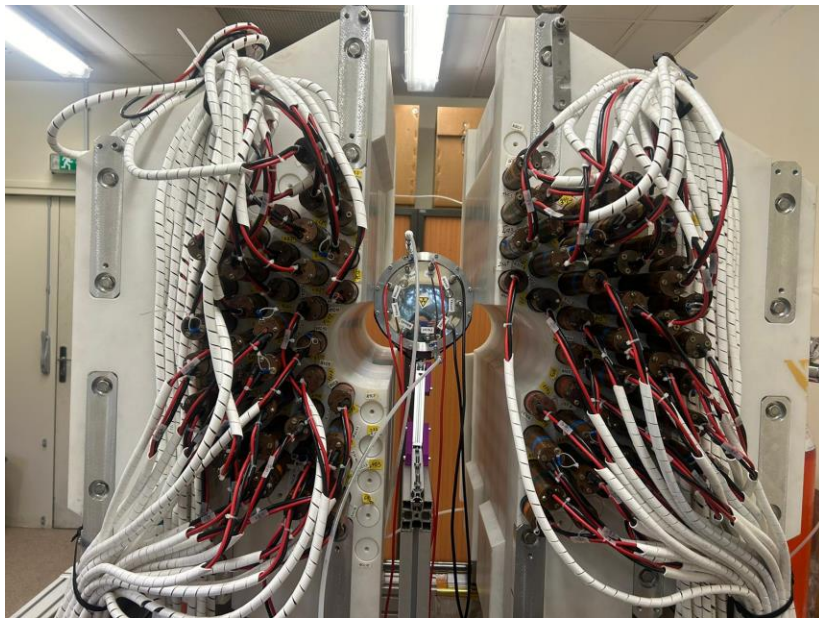
$$E_{\gamma, \text{tot}} = \int E_\gamma N_\gamma(E_\gamma) dE_\gamma$$

$$\epsilon_\gamma = E_{\gamma, \text{tot}} / \overline{M}_\gamma$$

Evolution with the neutron emission

TETRA Configuration

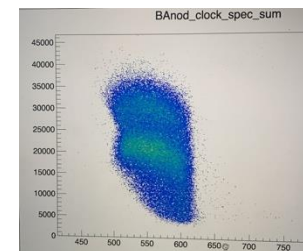
Setup Picture @ ALTO



Position sensitive Ionization Chamber:

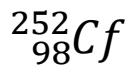
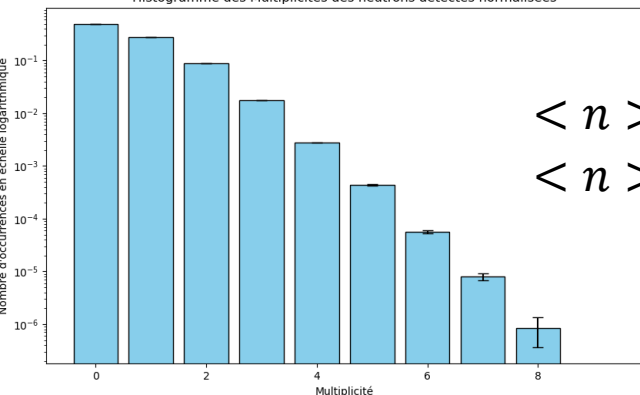
- Tag Fission ~ 3ns
- Mesure de la masse des fragments ~ 3amu
- Cinématique des fragments

TETRA



Résolution en temps: 250ps
Résolution en énergie: 3% (@662keV) et 0,6% (@18MeV)
Efficacité ~ 2 % @660 keV

Histogramme des Multiplicités des neutrons détectés normalisées



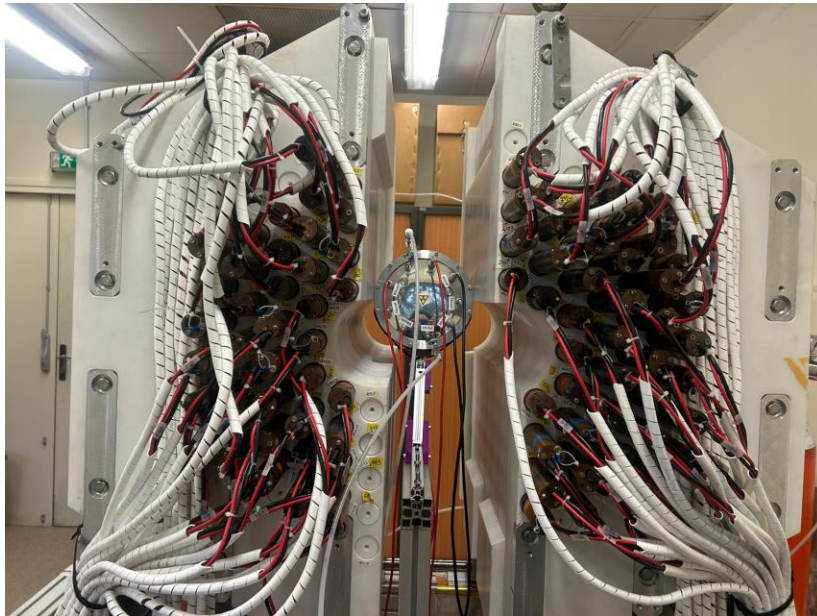
$\langle n \rangle_{ref} = 3,72$
 $\langle n \rangle_{exp} = 0,59 \pm 0,09$

Efficacité Estimée

18 ± 1%

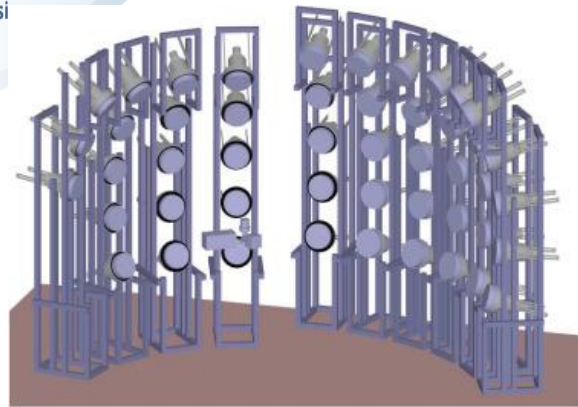
Thèse de M. Mehdi

Setup Picture @ ALTO

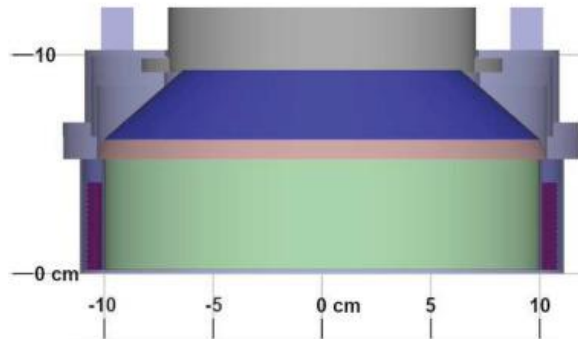


Acquisition de données depuis Avril:

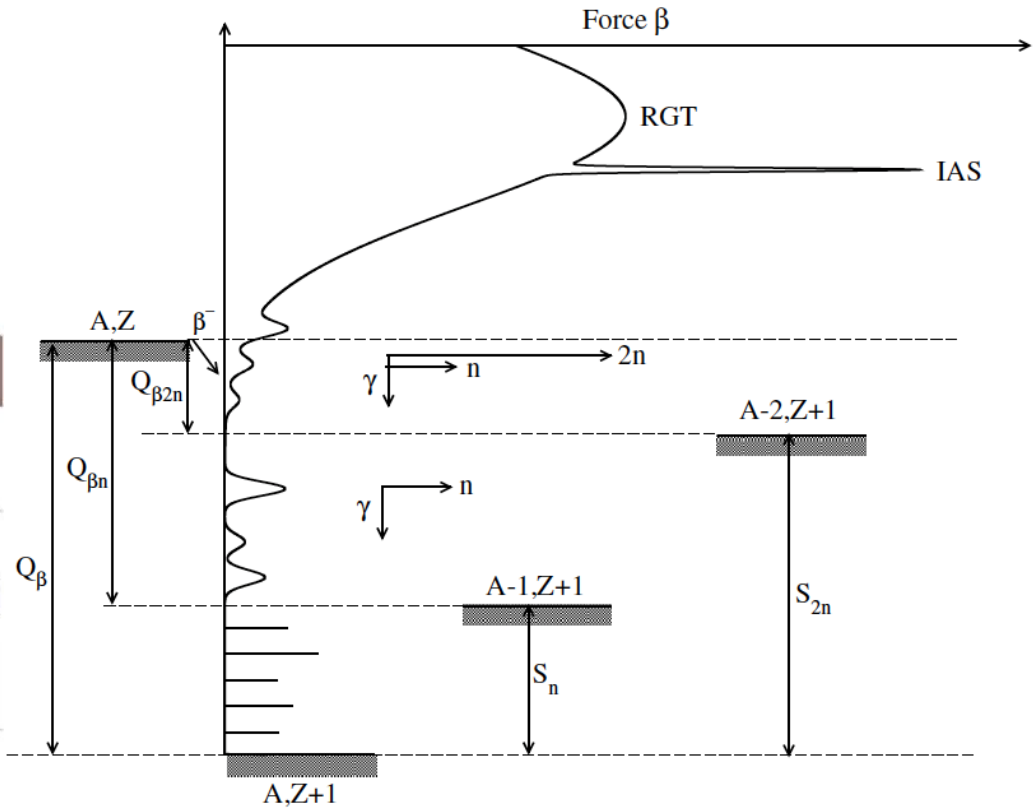
- Stockage des traces de la IC...
- 1,5 To/semaine
- Conversion from FASTER2ROOT en cours:
1,8h/2h -> 5,4 min/2h
- Calibration en énergie en cours
(verification de la stabilité)



(a) Full setup



(b) MONSTER cell



Expérience N-RI-14 (PAC 2018 : priorité A, 21UBT)

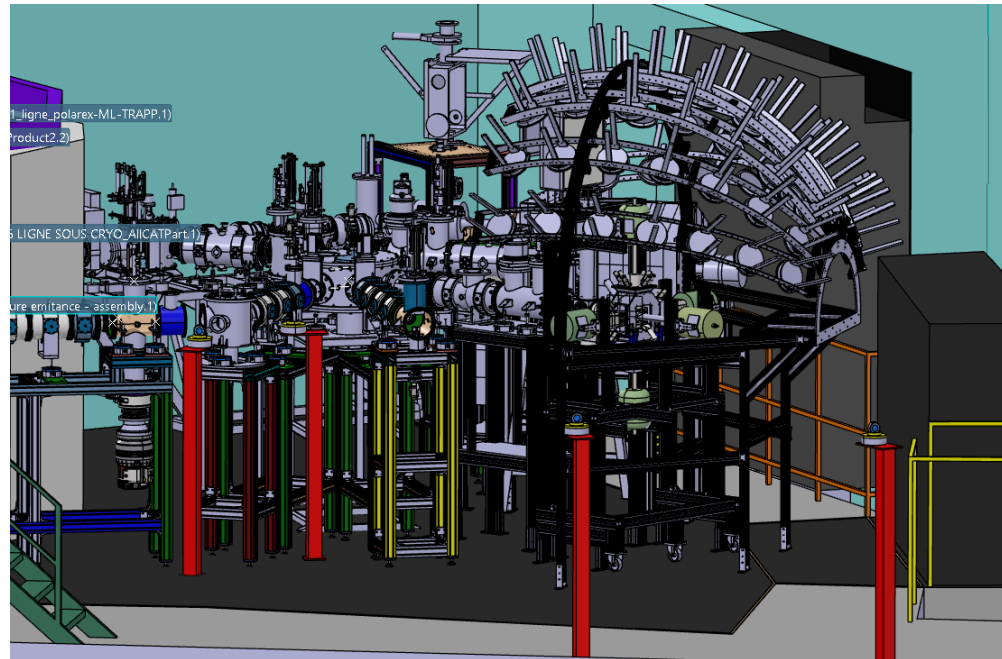
" ^{81}Zn ground-state spin determination from Pandemonium-free β -delayed spectroscopy of ^{81}Ga " (pp: D. Verney, IJCLab) thèse Emile Cantacuzène, IJCLab

Expérience N-RI-20 (PAC 2022 : priorité A, 36UBT)

" β -delayed neutron spectroscopy in $^{83,84}\text{Ga}$, (^{133}In) with MONSTER" (pp: A. Gottardo – INFN Legnaro, Italie)

Montage de la structure mécanique MONSTER + montage MONSTER (détecteur neutrons)

- transport
- sécurité (détection gaz)
- petites modifs mécaniques



Demande pour l'année 2024 :

TETRA/FRØZEN	Demandée (k€)
Investissement	15
Fonctionnement	1
Missions	0
TOTAL	16

BEDO	Demandée k€
Investissement	10
Fonctionnement	0
Missions	0
TOTAL	10

Reprise de la mécanique TETRA :

- modification pour l'ajout de détecteurs supplémentaires
- Mobilité de TETRA
- Gas pour la IC

Migration du setup BEDO sur la ligne LINO :

Adaptation de la mécanique BEDO à la nouvelle ligne et,
 Correction de la mécanique MONSTER

BESTIOL/ 3 instruments	Demandée (k€)
Investissement	10
Fonctionnement	0
Missions	8
TOTAL	18

Production d'un automate pour la gestion
 des 3 dérouleurs utilisés sur BESTIOL

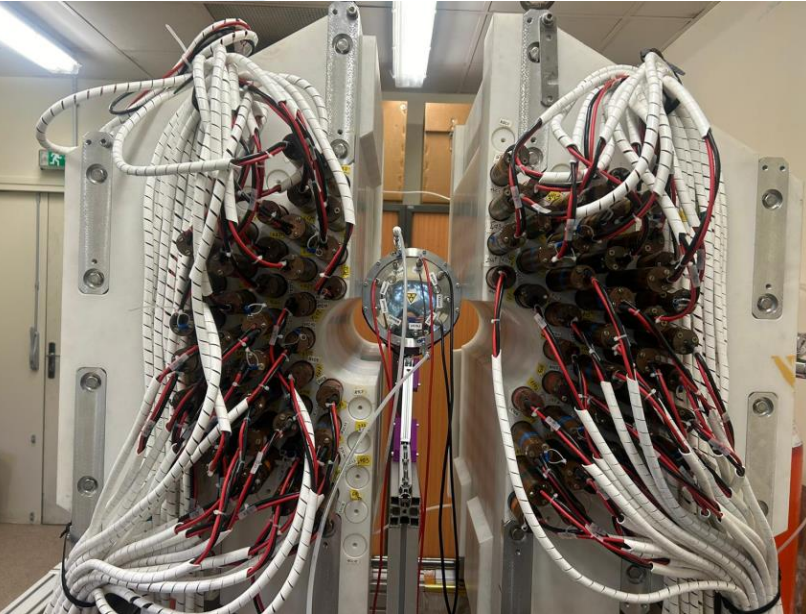
→ Mission IPHC participations
 aux temps de faisceau

Total MP BESTIOL : 44 k€

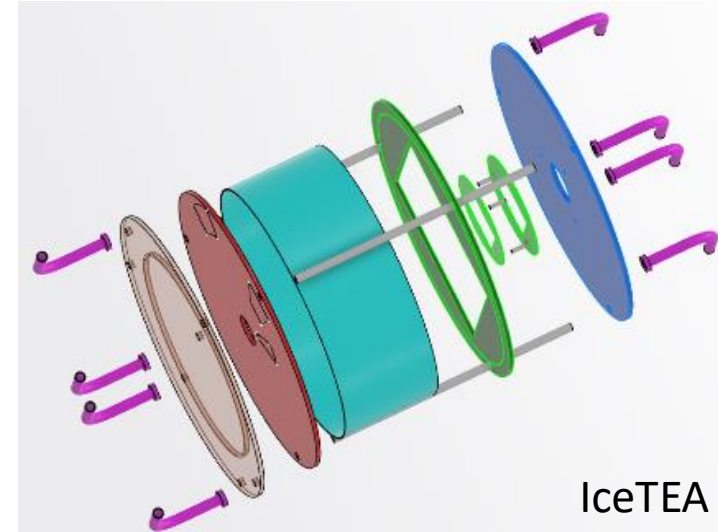
Dotation pour l'année 2024 :

MP BESTIOL (COeCO, TETRA, BEDO)	Demandée (k€)	Reçue (k€) AP IN2P3	Reçue (k€) TGIR GANIL	Reçue (k€) IJCLab
Investissement	35	10	10	0
Fonctionnement	1			
Missions	8			
Total	44			

Setup Picture @ ALTO



Conception d'une nouvelle TPC



- Résolution en énergie/masse attendue $\sim 600\text{keV}$
- Résolution en temps de la fission attendue $< 1\text{ns}$ (signal e^- , chambre à fils +50-50 Ar/CH 4)
- Meilleure reconstruction angulaire avec plan de pixels circulaires et/ou chambre à fils (résolution $\cos\theta < 0.1$)
- Taille!!!! 14cm de diamètre contre 25 aujourd'hui

Demande pour l'année 2025 :

TETRA/FRØZEN	Demandée (k€)
Investissement	10
Fonctionnement	2
Missions	5
TOTAL	17

Financement :

- investissement : achat matériel pour la création d'une nouvelle TPC (mécanique, circulation de gaz, plan de fils,...)
- Fonctionnement (gaz : CH4 N55 ou autre mélange)
- Missions : F. Didierjean participation aux campagnes LEB

BESTIOL/ 3 instruments	Demandée (k€)
Investissement	19,5
Fonctionnement	2
Missions	10
TOTAL	31,5

BEDO	Demandée k€)
Investissement	0
Fonctionnement	0
Missions	5
TOTAL	5

Financement :

- Missions : E. Cantacuzène, L. Plagnol, conférence

Ajout d'une reprise du β de COeCO
et du remplacement de la SiLi

Total MP BESTIOL : 31,5 k€

Iren
Labo
des 2

2024	2024	2024	2024	2025	2025	2025	2025	2026	2026	2026
Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3
beamtime at ALTO (COeCO)										
beamtime at ALTO (TETRA)										
beamtime at ALTO (BEDO)										

- Milestone 1 : First physics case validated for fission products at DESIR**
- Milestone 2 : transport beamline ready at DESIR**
- Milestone 3 : Budget for move confirmed**
- Milestone 4 : optimized version of COeCO for DESIR validated**
- Milestone 5 : optimized version of BEDO for DESIR validated**
- Milestone 6 : stable beam available**
- Milestone 7 : Neutron rich radioactive beam available**

2026	2027	2027	2027	2027	2028	2028	2028	2028	2029
Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1
Milestone 1 + 2 + 3 + 4	Packing at ALTO (COeCO)								
Milestone 1 + 2 + 3	Packing at ALTO (TETRA)								
Milestone 1 + 2 + 3 + 5	Packing at ALTO (BEDO)								
		Move to DESIR (COeCO)							
		Move to DESIR (TETRA)							
		Move to DESIR (BEDO)							
			Installation at DESIR (COeCO)						
			Installation at DESIR (TETRA)						
			Installation at DESIR (BEDO)						
				Milestone 6	offline commissioning at DESIR (COeCO)				
				Milestone 6	offline commissioning at DESIR (TETRA)				
				Milestone 6	offline commissioning at DESIR (BEDO)				
						Milestone 7	online commissioning at DESIR (COeCO)		
						Milestone 7	online commissioning at DESIR (TETRA)		
						Milestone 7	online commissioning at DESIR (BEDO)		

Questions ouvertes:

Jouvence ressources HPGe BESTIOL?

CRCN "Spectroscopie nucléaire dans le contexte du démarrage de S3 et DESIR "