

LES DONNÉES NUCLÉAIRES À L'IN2P3

- Contexte général des études
- Les besoins en lien avec le cycle électronucléaire
- Qu'est-ce qu'une donnée nucléaire ?
- Petit panorama des études en cours (morceaux choisis)
- Conclusions - Perspectives

CONTEXTE GÉNÉRAL DES ÉTUDES

Communauté née et constituée depuis ~ 1991 (PACE-PACEN - et NEEDS)

- Mobilisation des compétences « structure nucléaire et mécanismes de réaction »
- Travail en partenariat étroit avec le CEA (DSM, puis DAM et DEN)
- Partenariat avec industriels (AREVA, EDF)

Création d'une structure de coordination IN2P3-CEA

- Force de proposition scientifique et technique commune
- Préparation de réponses concertées aux différents AAP et actions de collaboration

Contexte international

Travaux en lien avec la NEA (ateliers JEFF, ...)

Participation à de nombreux programmes européens:

NUDAME, EUFRAT, EFNUDAT, ERINDA, NUDATRA, ANDES, CHANDA

Les forces à l'IN2P3

CENBG - Bordeaux (1 PR, 2 MdC, 2 CR, 3thèses)

IPHC - Strasbourg (2 CR/DR, 1 éméritat, 1 CDD, 1 ATER, 1 thèse

IPNO - Orsay (2 CR/DR, 2 MdC, 2 thèses)

LPCC - Caen (2 MdC à ½ temps)

LPSC - Grenoble (2 MdC + 2 theses)

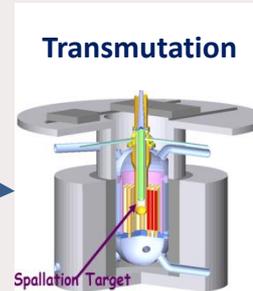
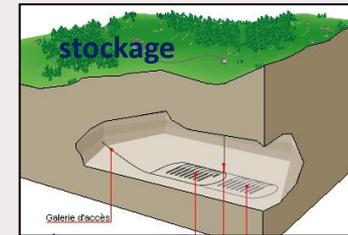
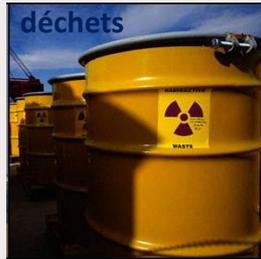
SUBATECH – Nantes (1,5 MdC, 1 thèse)

~ 10 ETPT, 10 thèses en cours

LES BESOINS EN DONNÉES NUCLÉAIRES

réactivité du cœur
et
performances de régénération

Rendements de fission



Rendements
de fission

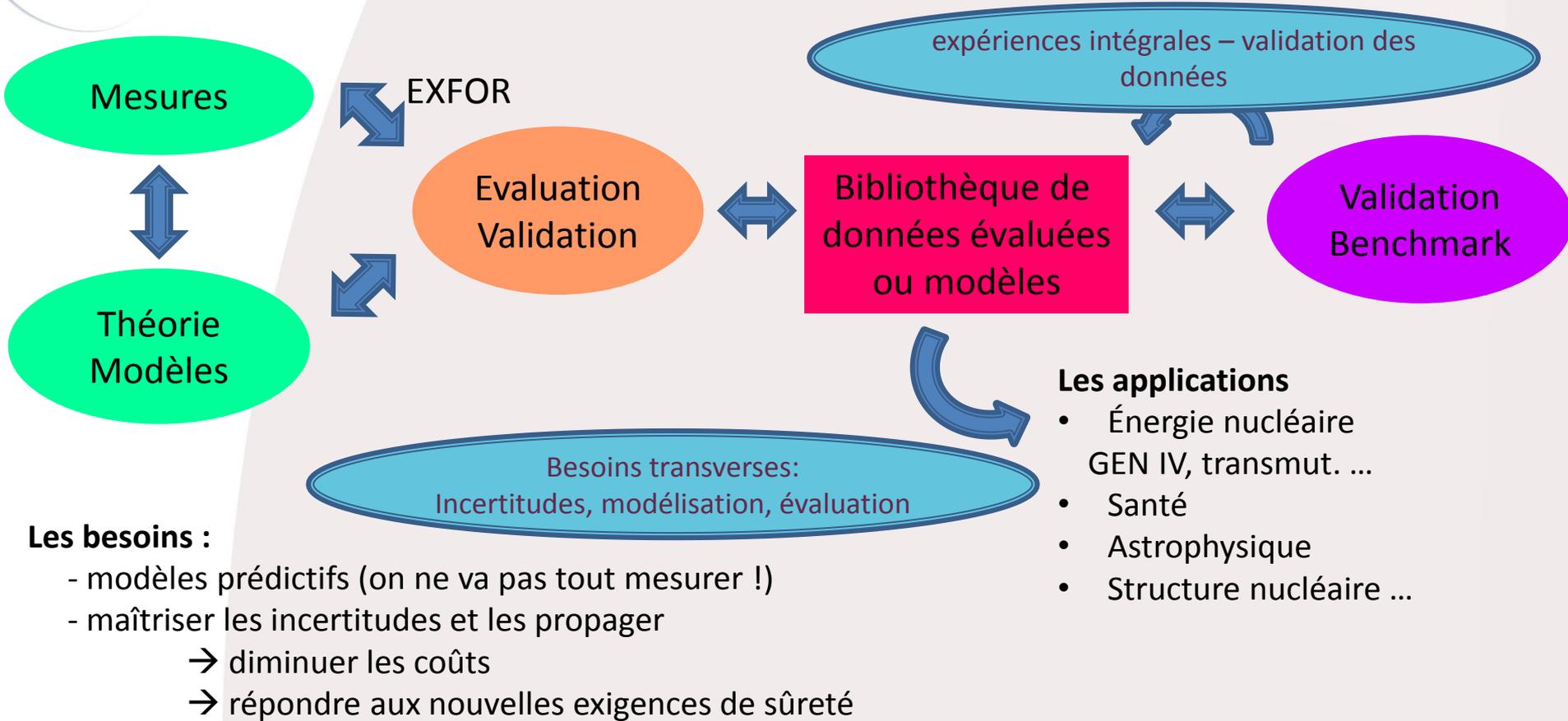
Données de
décroissance

émission γ , chaleur résiduelle
et radiotoxicité

Sections efficaces
différentielles

production d'actinides
majeurs et mineurs

PROCESSUS D'ÉVALUATION / VALIDATION DES DONNÉES



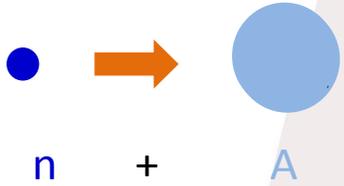
Les besoins :

- modèles prédictifs (on ne va pas tout mesurer !)
- maîtriser les incertitudes et les propager
 - diminuer les coûts
 - répondre aux nouvelles exigences de sûreté

Toutes les mesures ne peuvent pas être à visée applicative à court terme

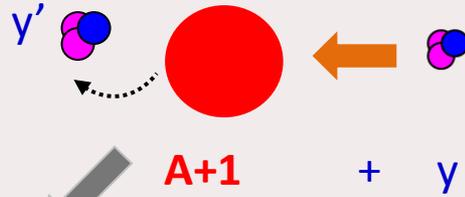
MESURES DE SECTIONS EFFICACES - MESURES DE RENDEMENTS DE FISSION

**réaction induite
par neutron**



therm. & rapide
 E^* connue

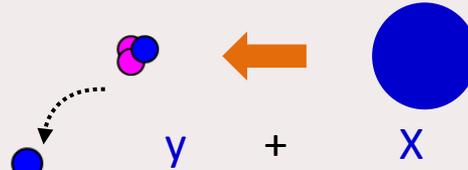
ILL → rendements
nTOF, Gelina → σ
NFS



**diffusion inélastique
réactions de transfert**

GANIL, Alto,
Licorne, Oslo
→ σ et rendements
HIE-Isolde

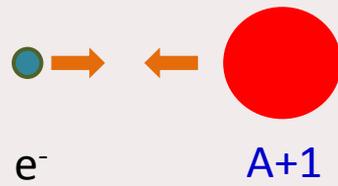
réactions
de
substitution
(surrogate)
Los Alamos, 1970



Réaction électromagnétique

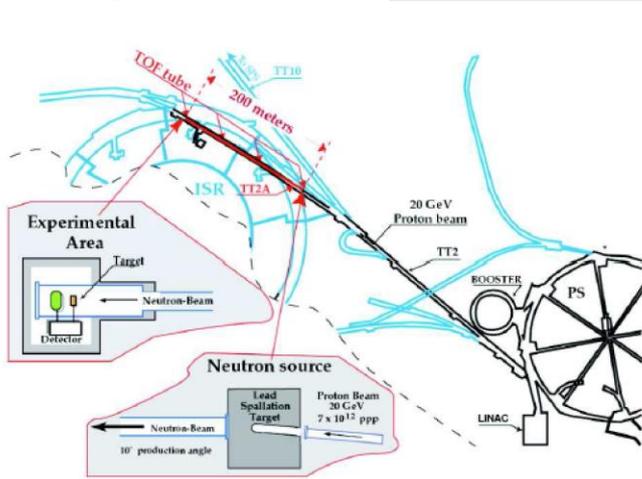
Spectre E^*

SOFIA (GSI) → rendements



E^* connue

FELISE (FAIR)



$0,7 \text{ eV} < E_n < 1 \text{ GeV}$

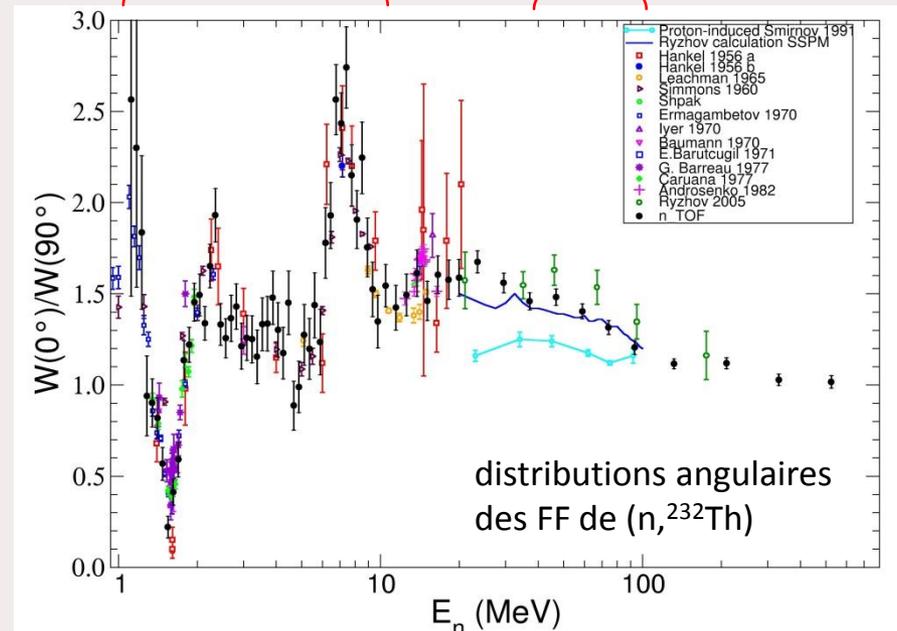
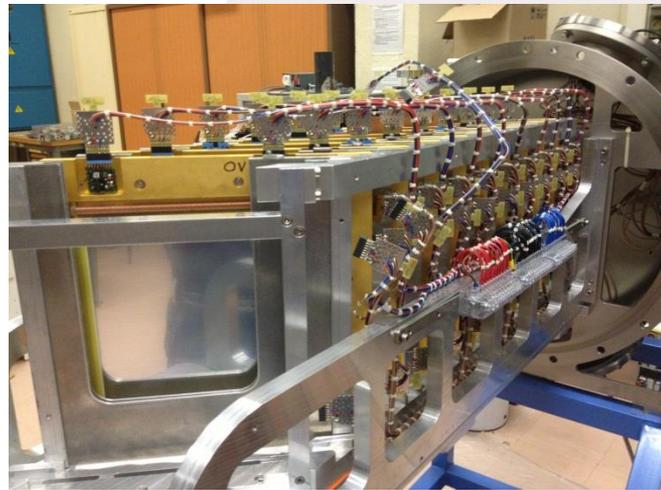
Base de temps de vol: 180m

Depuis 1999 ,

mesure de ^{nat}Pb , ^{209}Bi , ^{232}Th , $^{233,234,238}\text{U}$ et ^{237}Np
précision de 4 à 6%

**Bonne reproduction
des mesures antérieures!**

**Bon accord avec modèle de Ryzhov
Désaccord avec mesures en p**



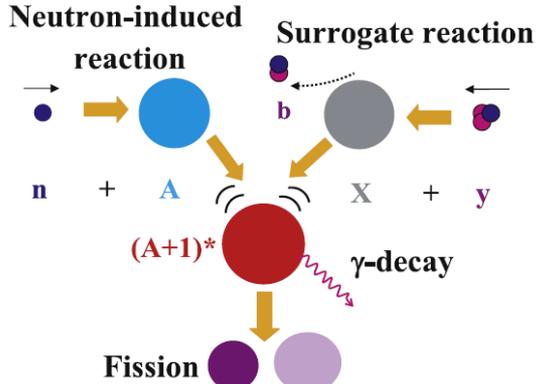
distributions angulaires
des FF de $(n, ^{232}\text{Th})$

Grande dynamique en énergie !

Perspectives

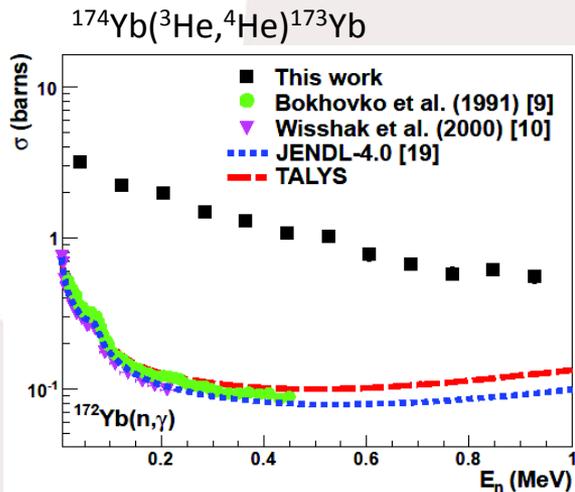
Poursuite des mesures de distributions angulaires
Mesure de ^{231}Pa ?

RÉACTIONS DE SUBSTITUTION



$$\sigma_{n,decay}^A(E_n) \approx \sigma_{CN}^{A+1}(E_n) \cdot P_{decay}^{surrogate}(E^*)$$

Support théorique nécessaire



G.Boutoux et al., PLB712(2012)319

(³He, ⁴He) et (n, γ) : différents J^π peuplés

³He (24 MeV) + ²⁴³Am (T_{1/2} = 7370 y)

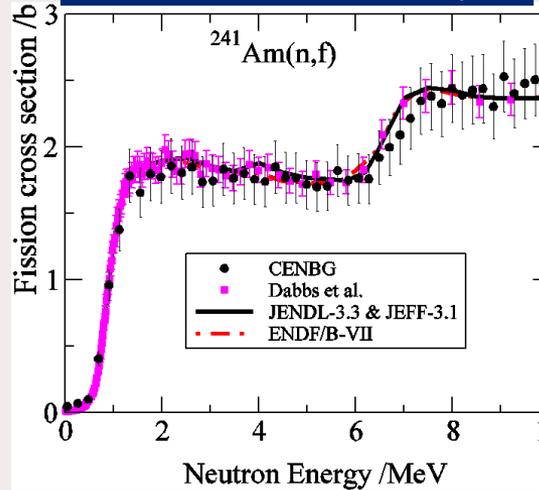
Réaction de transfert

Réaction induite par neutron

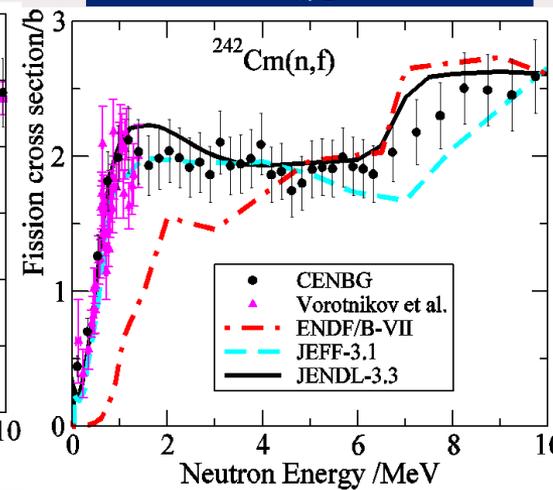
- ²⁴³Am(³He,d)²⁴⁴Cm
- ²⁴³Am(³He,t)²⁴³Cm
- ²⁴³Am(³He, α)²⁴²Am

- ²⁴³Cm(n,f) T_{1/2} = 29 y
- ²⁴²Cm(n,f) T_{1/2} = 163 d
- ²⁴¹Am(n,f) T_{1/2} = 432 y

²⁴¹Am T_{1/2} = 432.6 y



²⁴²Cm T_{1/2} = 163 d



G.Kessedjian et al., PLB692(2010)297

Fission: méthode efficace et puissante

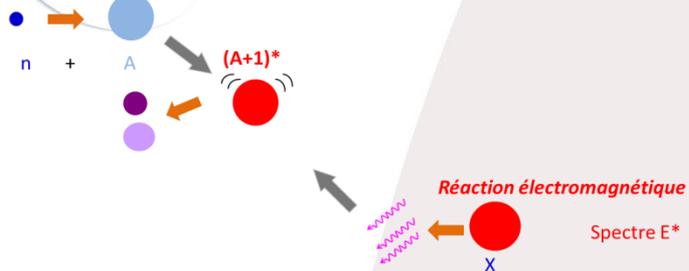
Capture:

- Étudier les distributions de J^π peuplés
- Corriger les résultats des différences de J^π
- Utiliser la méthode pour contraindre les modèles statistiques (fait dans ENDF)

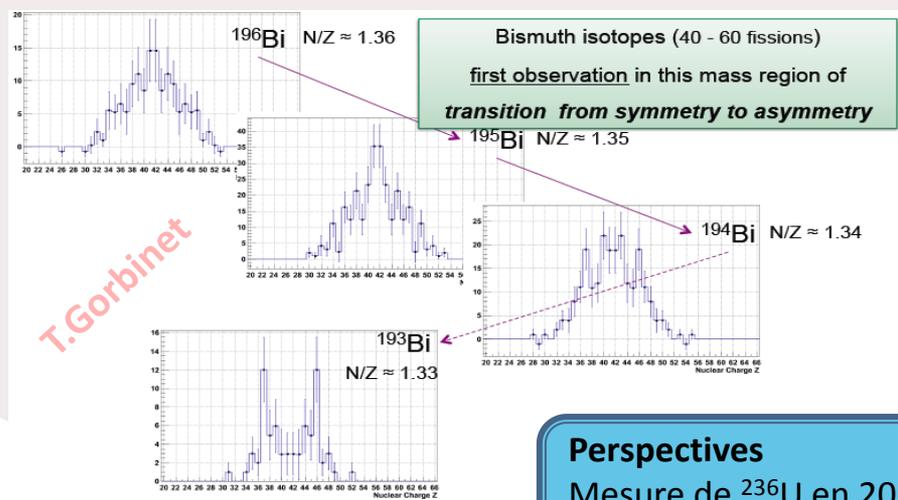
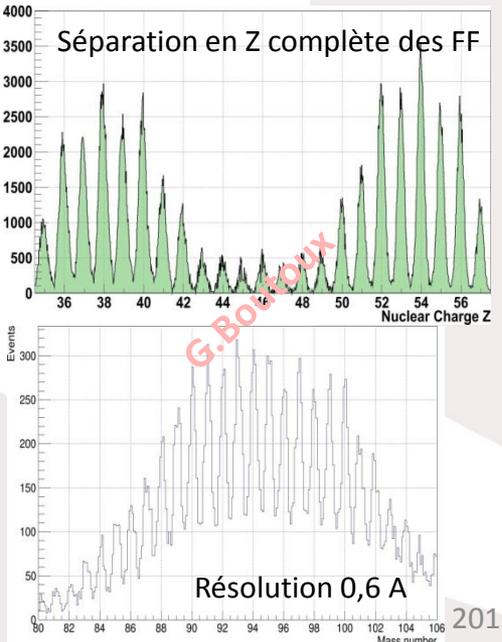
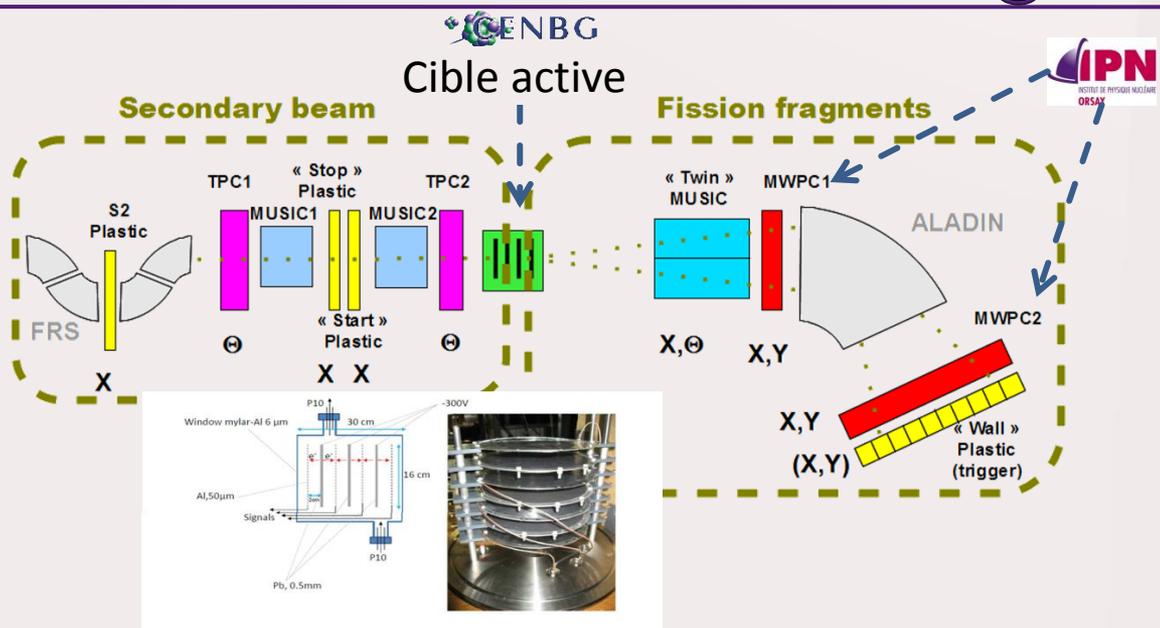
Collaboration avec les théoriciens essentielle !



SOFIA: STUDY OF FISSION IN INVERSE KINEMATICS WITH ALADIN @ GSI



Fission électromagnétique
 Mesures en cinématique inverse
 1^{ère} mesure complète des deux FF
 Précision < 1% sur rendements
 Mesure du ^{238}Np ($=^{237}\text{Np}+n$)



Perspectives
 Mesure de ^{236}U en 2014
 + une 10^{aine} de noyaux exotiques jusqu'au ^{182}Hg

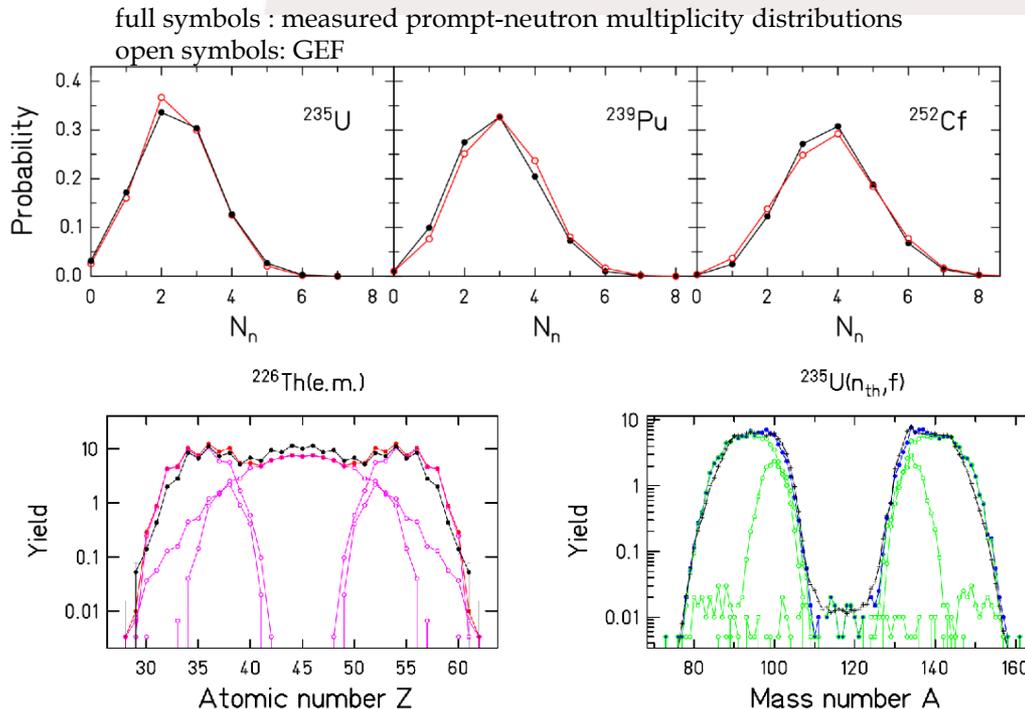
Description générale du processus de fission
 fission spontanée
 fission jusqu'à $E^* \sim 100$ MeV
 Code semi-empirique

Inclus dans prochaine version de JEFF

Sorties:

- rendements isotopiques
- rendements isotoniques et isobariques (pré et post neutron)
- Spectre des neutrons et des gamma prompts
- multiplicités de neutrons
- Énergie cinétique totale des fragments (pré et post neutron)
- moments angulaires des fragments
- Rendements isomériques

Entrées: Noyau fissionnant (Z, A, E^* , mode d'excitation)

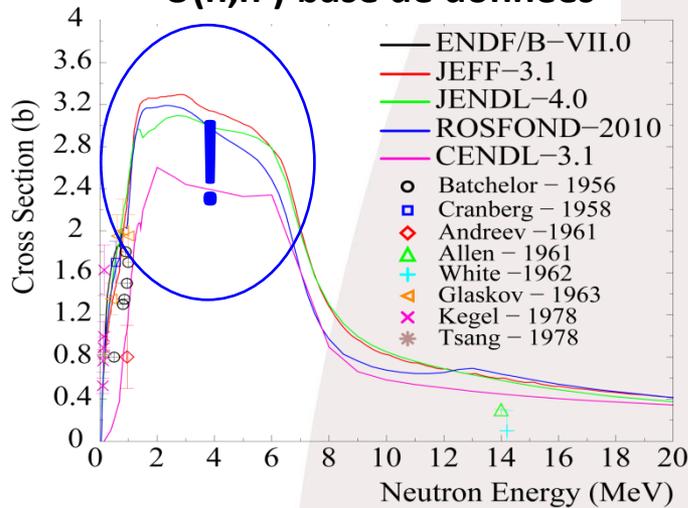


Perspectives:

- Inclure description des γ
- Mesures pour validation

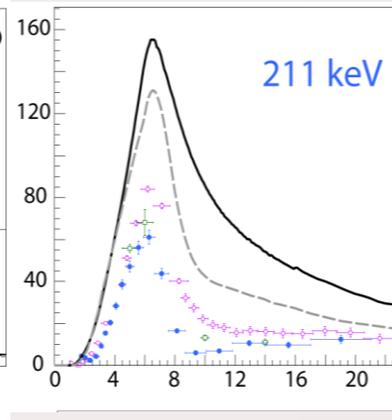
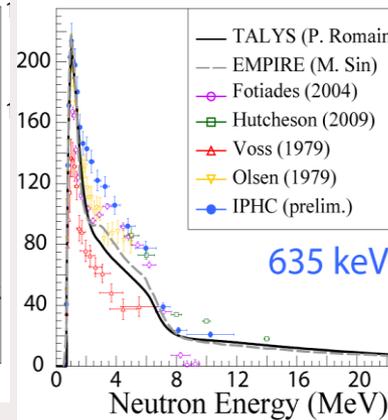
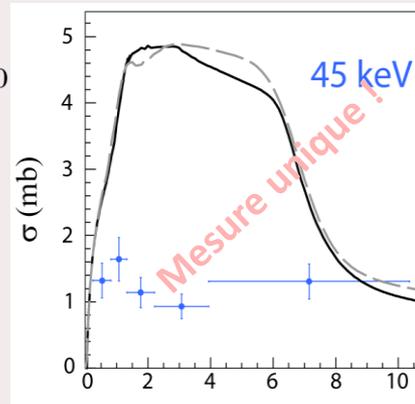
²³⁵U (dans EXFOR), ²³²Th, nat,182,183,184,186W, ²³⁸U

²³⁸U(n,n') base de données



Diffusion inélastique (n,n' γ) : exemple de l'²³⁸U

- ⇒ IPHC: mesure d'un jeu consistant de données très contraignantes
35 $\sigma(n,n' \gamma)$, 3 $\sigma(n,2n \gamma)$ et 4 $\sigma(n,3n \gamma)$
- ⇒ Mesure unique de la transition à 45 keV
- ⇒ Désaccord important avec les prédictions des codes

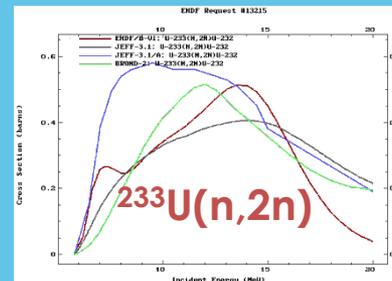


Perspectives:

Collaboration avec théoriciens (CEA/DAM)
2014 et au delà: mesure de l'²³³U(n,2n)

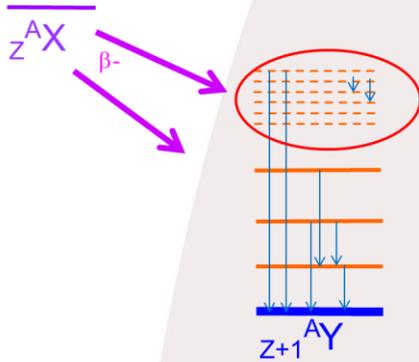
- aucune mesure
- compétition avec fission
- désaccord entre les prédictions

> 2014: @NFS « Day one experiment »



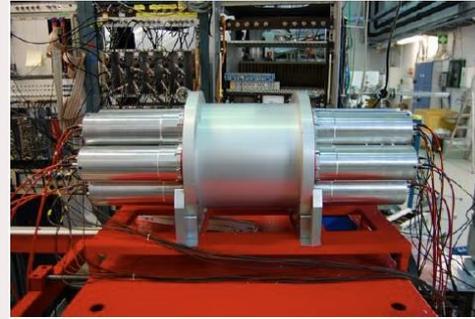
Effet Pandémonium:

Décroissance $\beta \Rightarrow$ utilisation de Ge \Rightarrow sous-estimation pour niveaux excités de hte énergie



Méthode TAGS (Total Absorption Gamma Spectrometry)

@Jyväskylä



12 BaF₂ covering $\sim 4\pi$

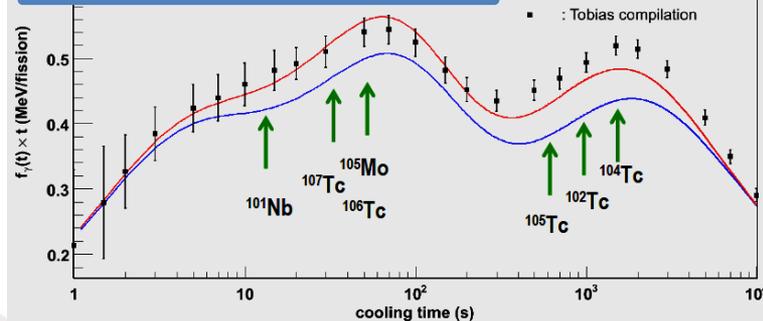
$\epsilon_{\text{détectation}} \text{ cascade } \gamma \sim 100\%$

Détecteur Si pour les β

Mesures TAS des ^{102,104-107}Tc, ¹⁰⁵Mo, and ¹⁰¹Nb:

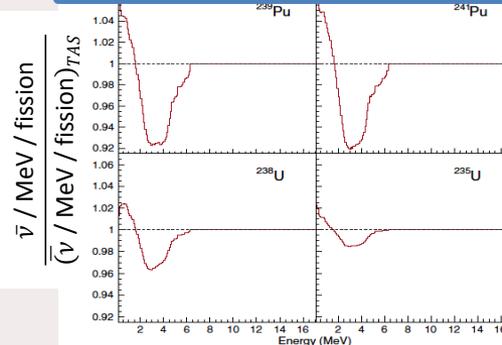
Effet sur la puissance résiduelle électromagnétique du ²³⁹Pu

— : EEM ENDF/B-VII
— : EEM ENDF/B-VII + TAGS
■ : Tobias compilation



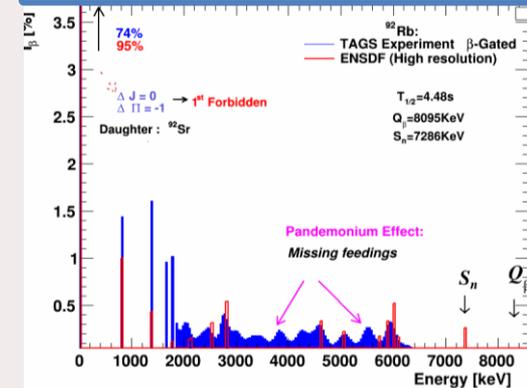
A. Algora et al., PRL 105,202501 (2010)

Effet sur les spectres des antineutrinos des réacteurs



M. Fallot et al., PRL 109, 20254 (2012)

Nouveaux résultats préliminaires



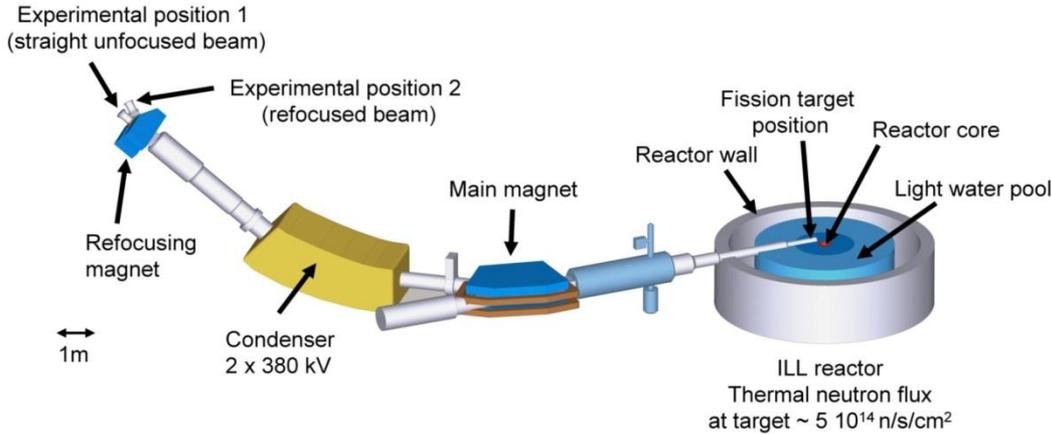
Thèse A.A. Zakari-Issoufou

Perspectives:

Etude ²³⁵U et ²³⁹Pu: nouvelle expérience à Jyväskylä en février 2014 - mesures β_n pour sureté réacteurs à ALTO (AIEA)

Synergie avec mesures des γ prompts

\rightarrow développement d'un ensemble scintillateurs de hte efficacité et hte résolution auprès de LICORNE, ALTO puis SPIRAL2



Spectromètre Lohengrin à l'ILL

→ Sélection en A/q et E/q

+ Gas Filled Magnet: → sélection en A <v/q>



« faisceaux » de fragments légers
purs à ~95%

Lohengrin ⊗ GFM donne accès à

- faibles rendements de fission
- Mesure de la chaleur de décroissance
- Énergie moyenne β/γ par isotope

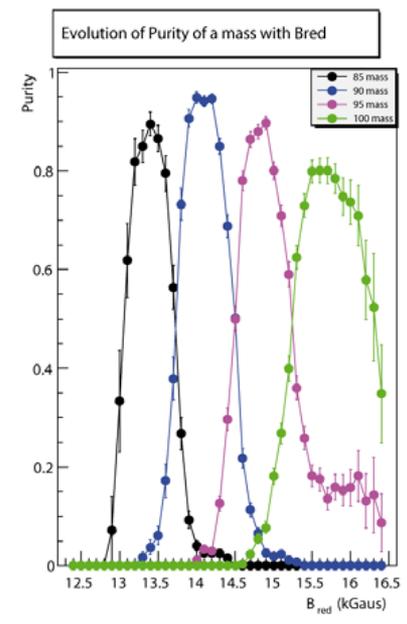
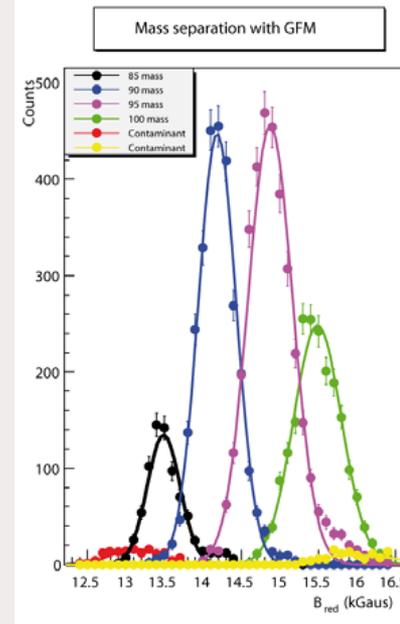
Projet FIPPS: couplage à un spectromètre γ (HPGe)

(Fission Product Prompt gamma ray Spectrometer)

LPSC : thèse de A.Chebboubi

Dynamique de la fission:

rendements de fission, spin, E*



LES FAISCEAUX

NFS (Spiral 2) et nTOF (CERN)

ILL (Grenoble):

spectre thermique $E_n < 250 \text{ meV}$

$1,5 \cdot 10^{15} \text{ n/s/cm}^2$

PEREN (LPSC):

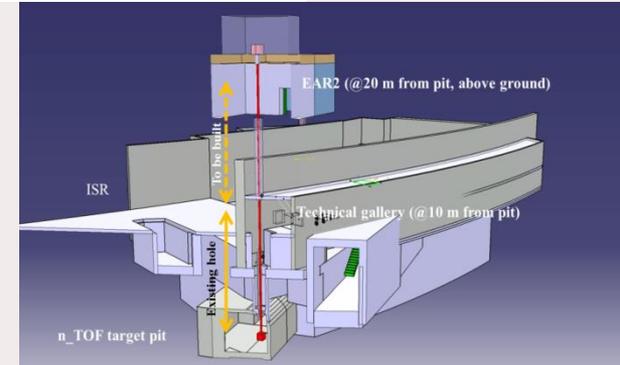
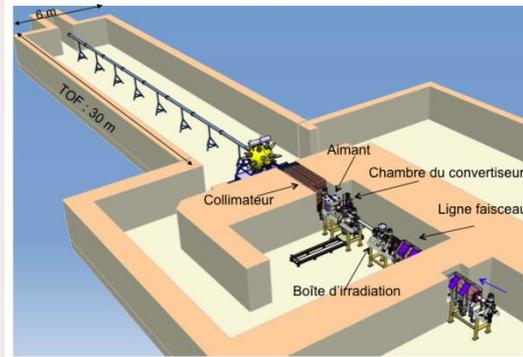
$D(d,n)^3\text{He} \rightarrow E_n \sim 3 \text{ MeV}; 10^6 \text{ n}/\mu\text{s}$

$T(d,n)^4\text{He} \rightarrow E_n \sim 15 \text{ MeV}; 10^5 \text{ n}/\mu\text{s}$

IRMM (Geel):

Gelina : $150 \text{ MeV } e^-$; $0,1 \text{ eV} < E_n < 20 \text{ MeV}$

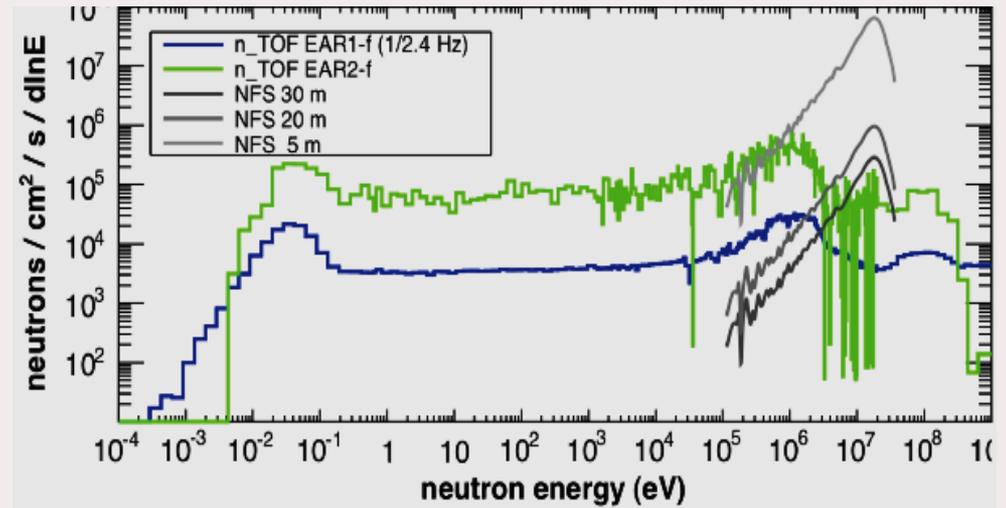
Van de Graff 7MV ($0 < E_n < 25 \text{ MeV}$)



... et aussi

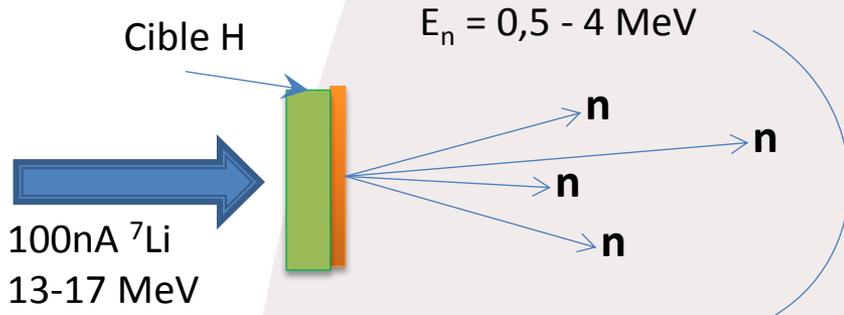
GSI, Jyväskylä

Aifira-CENBG, Tandem-IPNO, Oslo ...



et LICORNE ...

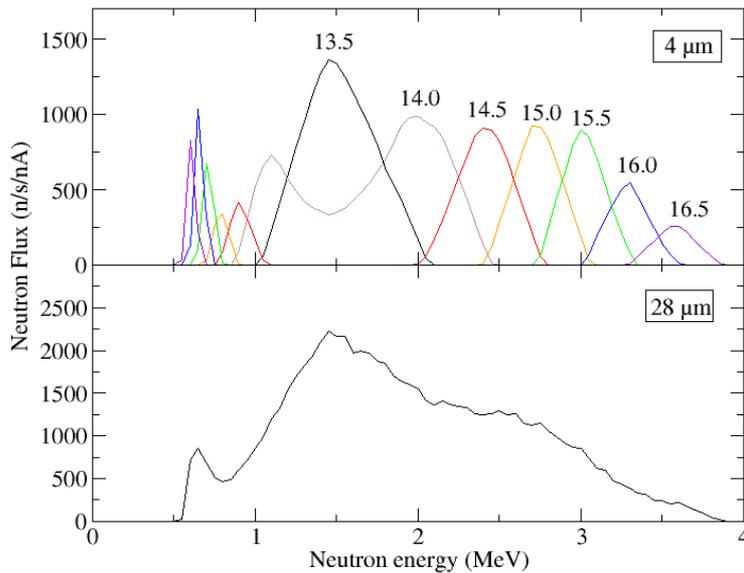
Production de neutrons au Tandem de l'IPNO $p(^7\text{Li}, ^7\text{Be})n$



Cône $< 30^\circ$
 10^7 n/s/sr

- faible bruit de fond
- possibilité de détection rapprochée de l'échantillon irradié

2 modes de fonctionnement:



Cible mince:

- faible flux
- E bien déterminée
- E dépendante de $E_{^7\text{Li}}$

LICORNE: une installation complémentaire dans l'attente de NFS

Cible épaisse:

- spectre continu
- flux plus important
- TOF nécessaire...

LES CIBLES D'ACTINIDES

Cibles d'actinides:

- Équipements nécessaires coûteux
- Savoir-faire rare (cibles minces)
- Difficulté à trouver des isotopes purs

Laboratoires existants:

- IRMM
 - ILL
 - Oak-ridge
 - Los Alamos
- Essentiellement
pour besoins propres

CACAO: Chimie des Actinides et Cibles radioActives à Orsay (inauguration 12 Juillet 2013)
Laboratoire de **fabrication** et de **caractérisation**



^{238}U 337 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$; $\phi = 8$ cm
Expérience de fission (n-TOF)
→ support très fin Al de 0.75 μm



→ **CHANDA** (new CHALLENGES for Nuclear Data)

Coordination du WP



« Coordination of the development of a network for nuclear target preparation and Characterization »

CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

Grande variété de mesures de qualité

- Fission
 - Mesures de σ (production, distributions angulaires)
 - Mesures des rendements
- Capture radiative
- Diffusion inélastique
- Décroissances γ

IN2P3 reconnu comme acteur important

Communauté clairement structurée/identifiée

Forte synergie physique académique / applications

→ lien fort à maintenir /développer

Support théorique nécessaire → actuellement principalement CEA

→ et CNRS ?

Réduction du temps entre les mesures et leur évaluation

→ collaborations plus étroites avec les évaluateurs et les physiciens des réacteurs

**Certaines équipes en sous-effectif
Nouveaux postes ?**