

La structure pour l'étude de la diffusion inélastique du neutron

G. Henning, M. Kerveno
(IPHC)




Enjeux et importance des réactions (n, n')

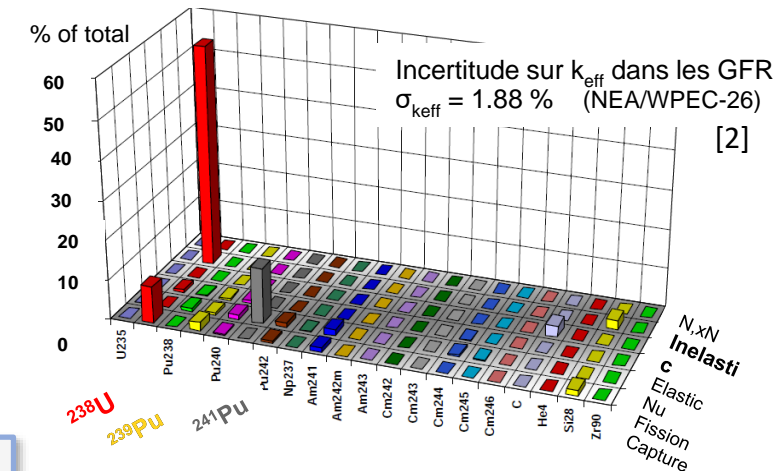
Dans le réacteur, les diffusions inélastiques (n, xn) changent le nombre de neutrons, leur énergie, et produisent de nouveaux isotopes.

Les neutrons autour de 1 MeV, fortement affectés par les réactions (n, n') sur $^{235,238}\text{U}$ ont un grand libre parcours moyen dans le réacteur et participent au découplage des nappes de puissance. [1]

Aujourd'hui, l'incertitude sur $\sigma_{^{238}\text{U}}(n, n')$ limite la précision des calculs de criticité et de puissance dans les RNR et réacteurs à large coeur.

La section efficace (n, n') sur ^{238}U est repertoriée dans la HPRL [3] :

15H		95-AM-241	(n, g), (n, tot)	SIG	Thermal-Fast
18H		92-U-238	(n, inl)	SIG	65 keV-20 MeV
19H		94-Pu-238	(n, f)	SIG	9 keV-6 MeV



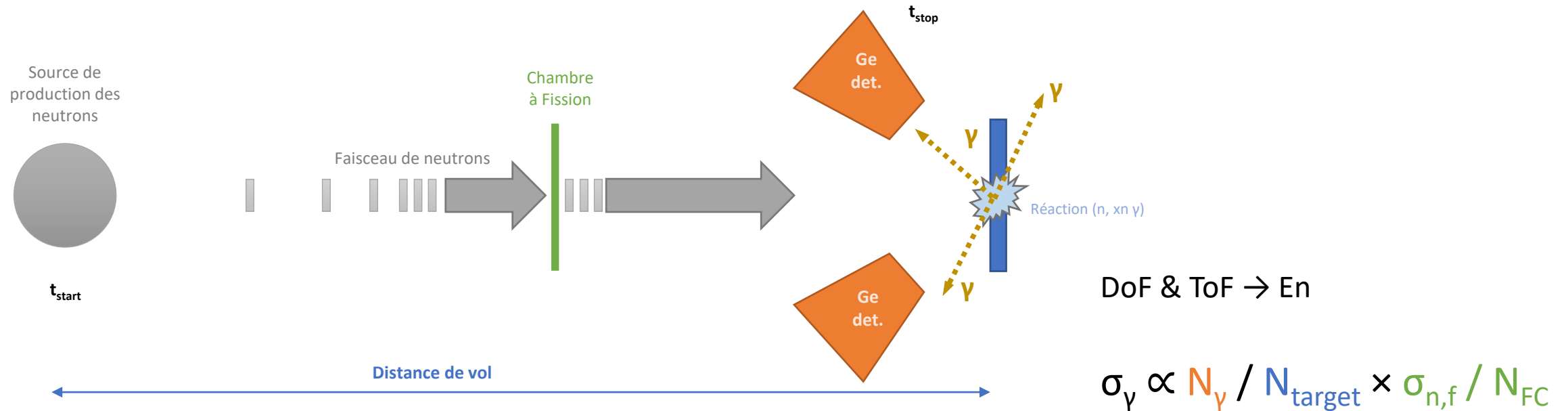
[1] D. Bernard, CEA/DES

[2] NEA/WPEC-26, "Uncertainty and Target Accuracy Assessment for Innovative Systems Using Recent Covariance Data Evaluations." (2008)

[3] NEA Nuclear Data High Priority Request List <https://www.oecd-nea.org/dbdata/hprl/search.pl>

Mesure des section efficaces (n, xn)

Mesures indirectes par la voie exclusive (n, xn γ) [1,2].



Dispositif GRAPhEME, installé à GELINA (JRC-Geel).

Expérimentalement, toutes les transitions γ ne sont pas accessibles (intensité, conversion, efficacité des détecteurs).

[1] "How to produce accurate inelastic cross sections from an indirect measurement method?" M. Kerveno et al., EPJ Nuclear Sci. Technol. 4, 23 (2018)

[2] "GRAPhEME : a setup to measure (n, xn γ) reaction cross sections." Greg Henning, et al.. Adv. in Nuc. Instr. Meas. Met. and App., 2015.

Mesure des section efficaces (n, xn)

Mesures indirectes par la voie exclusive ($n, xn \gamma$) [1,2].

Expérimentalement, toutes les transitions γ ne sont pas accessibles (intensité, conversion, efficacité des détecteurs).

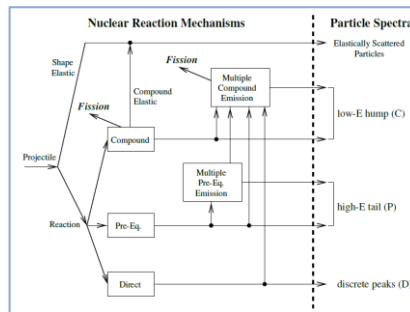
$$\sigma_{\gamma} \propto N_{\gamma} / N_{\text{target}} \times \sigma_{n,f} / N_{FC}$$

Les σ_{γ} mesurées avec précision sont comparées aux résultats des calculs et contraignent ceux-ci.

Modèles de réaction

Codes de calcul

(input: structure, potentiel optique, ...)



σ totale (n, n') calculée
avec les modèles
contraints par nos mesures

Sections efficaces ($n, n' \gamma$)
Mesurées précisément

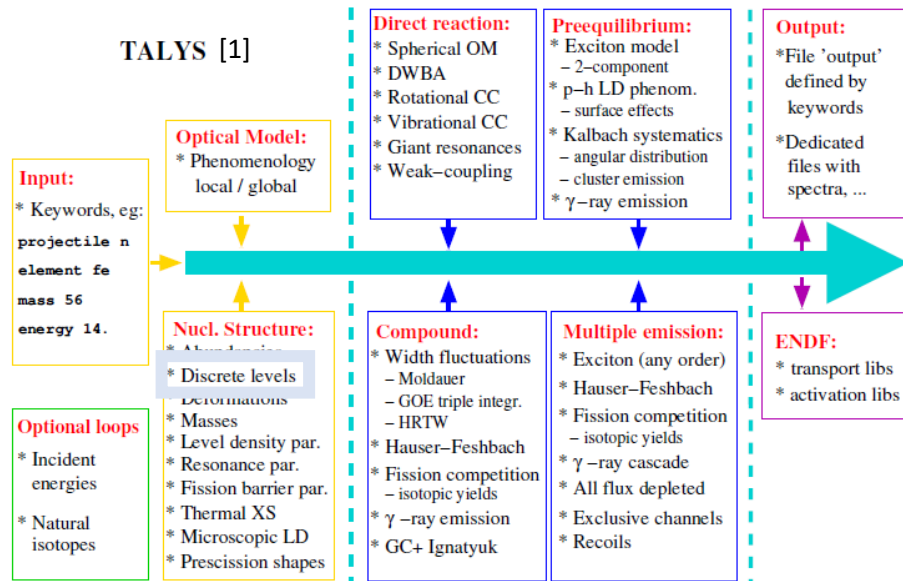
Méthode originale, qui reste
réduit la dépendance aux
données de structure.

[1] "How to produce accurate inelastic cross sections from an indirect measurement method?" M. Kerveno et al., EPJ Nuclear Sci. Technol. 4, 23 (2018)

[2] "GRAPHEME : a setup to measure ($n, xn \gamma$) reaction cross sections." Greg Henning, et al.. Adv. in Nuc. Instr. Meas. Met. and App., 2015.

Calculs des sections efficaces

Les codes de réaction utilisent comme *input* de leurs calculs les données de structure (pour la décroissance des noyaux excités).

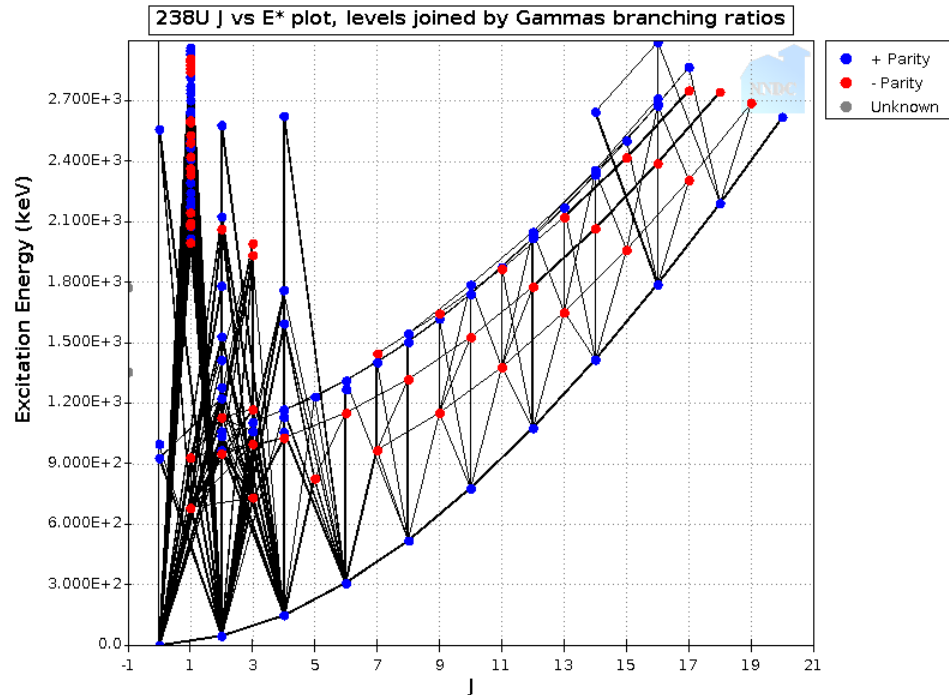


«The default choice is the RIPL-3 database(...), unknown spins, parities and branching ratios are always assigned a value, based on simple statistical spin rules.» [1]

Ajoute une *couche* d'incertitudes sur l'utilisation des données de structure.

Etat des bases de données de structure

Dans la base de données (BdD) ENSDF [1], les intensités γ pour le ^{238}U sont connues avec une incertitude moyenne de 8 % (parfois, aucune incertitude n'est donnée).



RIPL-3 (Discrete Level Scheme) [2]

127-161 minutes

Discrete Levels

^{238}U

number of levels:	285
number of gamma-rays:	587
number of levels in a complete level scheme:	45
number of levels with assigned spin and parity:	10
neutron separation energy:	6.153719 [MeV]
proton separation energy:	7.508863 [MeV]

[1] NuDat3, Evaluated Nuclear Structure Data File at National Nuclear Data Center - www.nndc.bnl.gov

[2] Reference Input Parameter Library - IAEA / Nuclear Data Service - <https://www-nds.iaea.org/RIPL-3/>

Etat des bases de données de structure

Les problèmes dans les bases de données se retrouvent dans les fichiers d'input des modèles [1]:

92 238 501 152					238U															
0	0.000000	0.0	1	0	1.410E+17	0+	11	0.950120	2.0	-1	3	6	0.414900	1.500E+00	2-					
1	0.044916	2.0	1	1	2.060E-10	2+						5	0.270600	8.000E-01						
				0	1.000000	6.090E+02						1	0.314500	4.470E-03						
4+	2	0.148380	4.0	1	1			12	0.966130	2.0	1	5	6	0.065632	6.890E-02	2+				
				1	1.000000	1.160E+01						5	0.037341	4.380E-02						
6+	3	0.307180	6.0	1	1							2	0.449014	1.660E-02						
				2	1.000000	1.871E+00						1	0.326010	2.300E-01						
	4	0.518100	8.0	1	1	2.300E-11	8+	13	0.981770	7.0	-1	2	0	0.122004	1.200E-02					
				3	1.000000	6.260E-01						4	0.066328	2.600E-02	7-					
	5	0.680110	1.0	-1	2	3.500E-14	1-	14	0.997230	0.0	1	1	3	0.933672	1.100E-02	0+				
				1	0.558700	2.000E-02						0	1.000000	0.000E+00						
	6	0.731930	3.0	-1	3	0.441300	2.000E-02	3-	15	1.012790	3.0	-1	5	10	0.000000	2.200E+02	3-			
				5	0.000000	1.000E+03						6	0.000000	8.000E-01						
				2	0.448700	1.003E-02						5	0.055681	1.611E-01						
				1	0.551300	1.000E-02						2	0.602412	5.020E-03						
	7	0.775900	10.0	1	1	9.000E-12	10+					1	0.341907	4.090E-03						
				4	1.000000	3.130E-01						16	1.028000	4.0	-1	3	11	0.333333	1.000E+02	4-
	8	0.826640	5.0	-1	2			5-					6	0.333333	6.000E-01					
				3	0.335100	1.800E-02						2	0.333333	5.900E-03						
				2	0.664900	1.000E-02														
	9	0.927210	0.0	1	1			0+	17	1.037250	2.0	1	5				2+			
				1	1.000000	1.412E-02	(1-)						6	0.037620	3.790E-02					
	10	0.930550	1.0	-1	3								5	0.029970	2.700E-02					
				5	0.172400	1.000E+00						2	0.223402	1.410E-02						
				1	0.661100	4.650E-03						1	0.398604	7.800E-01						
				0	0.166500	4.260E-03						0	0.310403	1.050E-02						

Même si les BdD ont résolu le problème, il peut persister dans le *package* du code.

(Corrigé dans RIPL3 (2020), toujours présent dans Talys-1.96 (2021))

1028	CD	4-	78.1 4	64 42
			295.86 6	<190
			879.63 11	100 6

[1] Extrait de /talys/1.8/talys/structure/levels/final/z092

[2] NuDat3, Evaluated Nuclear Structure Data File at National Nuclear Data Center - www.nndc.bnl.gov

Etat des bases de données de structure

Défauts des BdD constatés pour plusieurs noyaux :

- ^{232}Th [1]

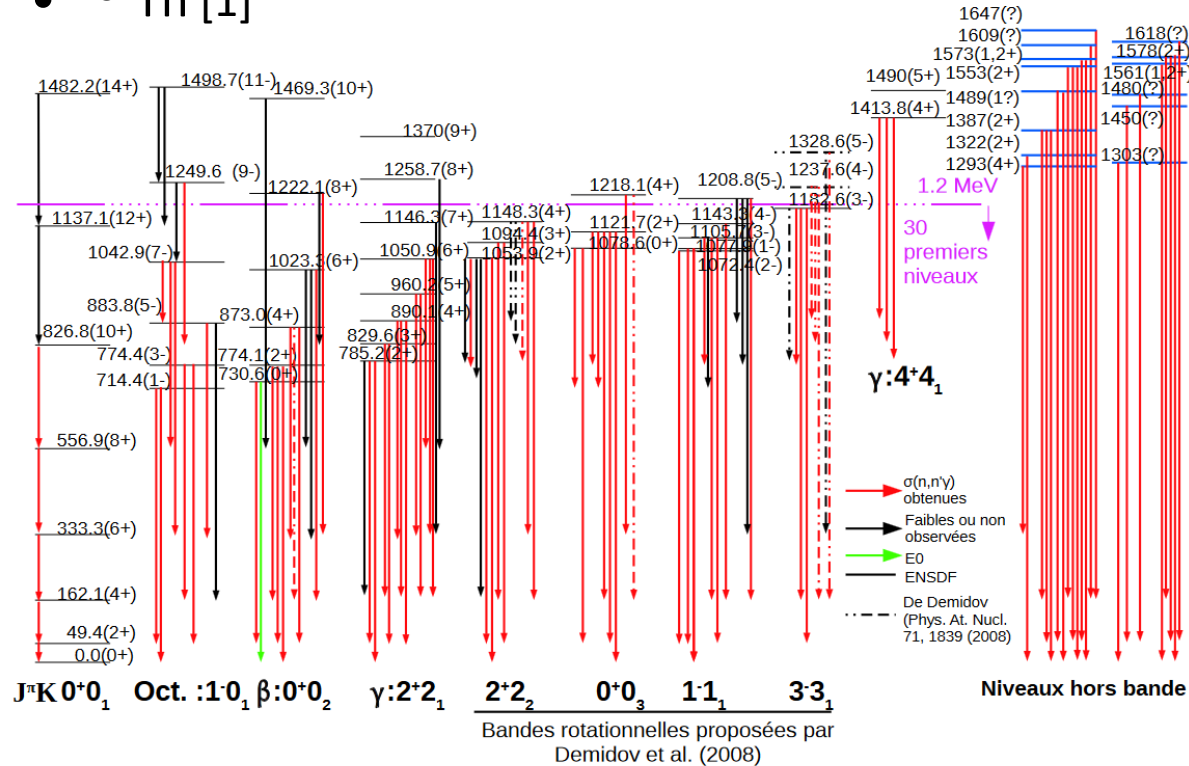


FIGURE 4.1 – Schéma de niveau du thorium-232.

- également constaté pour ^{233}U , ^{239}Pu (c'est même encore pire).

Niveau Ex(J π)	Énergie gamma (keV)	Intensité relative mesurée	Intensité relative ENSDF
873,0 (4 $^+$)	539,9	17(3)	100
	710,5	22(4)	Transition absente
1042,9 (7 $^-$)	823,6	100(2)	Non mentionnée
	159	19(4)	100
1121,7 (2 $^+$)	486	100(2)	65
	347,2	11(1)	30
	407,3	12(1)	37
	959,3	37(2)	100
	1072,6	100(2)	Non mentionnée
	1121,7	5(1)	Non mentionnée

TABLE 4.1 – Intensités relatives mesurées et issues de ENSDF.

Améliorations des bases de données de structure

Une requête déposée sur le Nuclear Structure Experimental Issues :

<https://nucleardata.berkeley.edu/nsei/index.html>

Nuclear Structure Experimental Issues

EXPERIMENTAL REQUEST:

Name: Maelle Kerveno

Affiliation: Centre national de la recherche scientifique (CNRS)

Email: maelle.kerveno@iphc.cnrs.fr

Nucleus: ^{238}U **Subject:** Better knowledge of branching ratios, multipolarities and mixing ratios

Branching ratio:

Some differences are observed between our measurement and the value present in ENSDF. See "Meeting Minutes for the Informal Work Meeting on Inelastic Gammas", G.P.A. Nobre, D.A. Brown, L. Bernstein (03/2019)

In the table below, the gammas for which BR have to be checked are highlighted in blue.

Internal conversion coefficients:

We have noticed that in RIPL, if the multipolarity or the mixing ratio of a gamma transition is not known in ENSDF, some assumptions are done for the IC coefficient calculation. Sometimes these assumptions (for instance the mixing ratio is assumed to be equal to 1 for M1+E2 transitions) lack experimental support. It is not always possible with BrIcc v2.3S, for example, to find what assumptions give the IC value present in RIPL.

Thus it seems relevant to try to fill the missing information (multipolarities and mixing ratios) with measured values.



Bottleneck de l'évaluation : passer de la mesure expérimentale à l'intégration dans les bases de données demande du temps et des ETP.

••• Sensibilité des résultats ($n, n'\gamma$) aux données de structure

Une étude Monte-Carlo permet de montrer la sensibilité des sections efficaces calculées aux *Branching Ratios* (BR) utilisés [1].

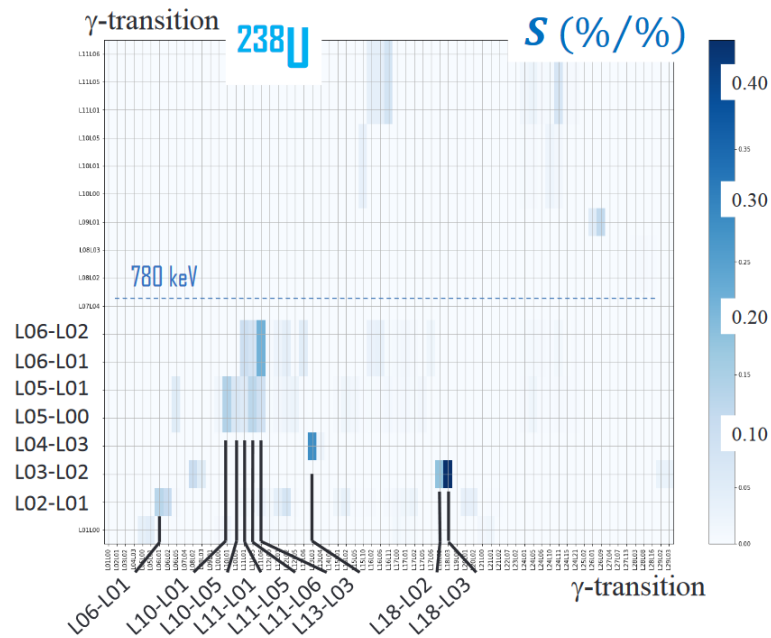


Figure 7. (color online) Sensitivity matrix for γ -production cross sections to Branching Ratios in ^{238}U . L_i is the number of the level in TALYS.

Avec les incertitudes moyennes sur les BR constatées dans les bases de données, cela implique des incertitudes pouvant atteindre 4% sur les sections efficaces calculées.

Les incertitudes sur nos données expérimentales $\sigma_{(n, n'\gamma)}$ vont de 3 à 20 %.

Avec des données expérimentales à $\sim 5\%$ et des calculs à 4 % d'incertitude, les contraintes sur les modèles ne sont pas suffisantes pour atteindre l'incertitude cible de 2-5 % dans l'évaluation de la section efficace totale (n, n').

Conclusions & Perspectives



Impact important des réactions (n , x_n) pour les réacteurs.

Besoin de nouvelles données / amélioration des modèles pour atteindre les niveaux de précisions requis dans les évaluations



Mesures indirectes via (n , x_n , γ) : contraignant pour les modèles.

Mais les incertitudes sur la structure limitent le poids des comparaisons expériences/calculs. Encore insuffisant pour une section efficace (n , n') à 5 %.



Besoin de nouvelles données de structure pour préciser des BR ou l'existence de certains niveaux ou transitions. Pour ^{238}U , mais aussi ^{232}Th , ^{233}U , ^{239}Pu .



Sensibilisation à ces problématiques et présentation de nos besoins à la communauté « Structure » [this workshop].



Publication des données et leur interprétation qui inclut les données de structure utilisées, pour permettre une mise à jour en cas de réévaluation de celles-ci (🌟 Open Science).



Acquisition de nouvelles données de structure (nous sommes en ce moment impliqués dans des mesures de structure de ^{238}U avec la compagnie nu-Ball 2 + analyse des données nu-Ball 1 [C. Chatel]).



TITRE
