

RJC 2008 – Les Houches

Centre d'Etudes Nucléaires
Bordeaux Gradignan
CNRS/IN2P3



**Mesure de sections efficaces de capture
neutronique via des réactions de transfert
d'intérêt pour la transmutation**



Groupe ACEN du CENBG :
M. Aïche, G. Barreau, G. Boutoux, S. Czajkowski,
D. Dassié, B. Haas, B. Jurado

En collaboration avec le CEA: V. Méot, O. Roig, O. Sérot



Quelques repères...

1

Données nucléaires pour la transmutation

2

Mesure de sections efficaces neutroniques pour des noyaux à faible demi-vie.

Méthode induite par neutrons et méthode de substitution, dite "surrogate".

3

Expérience à l'IPNO (Tandem) – Février 2009

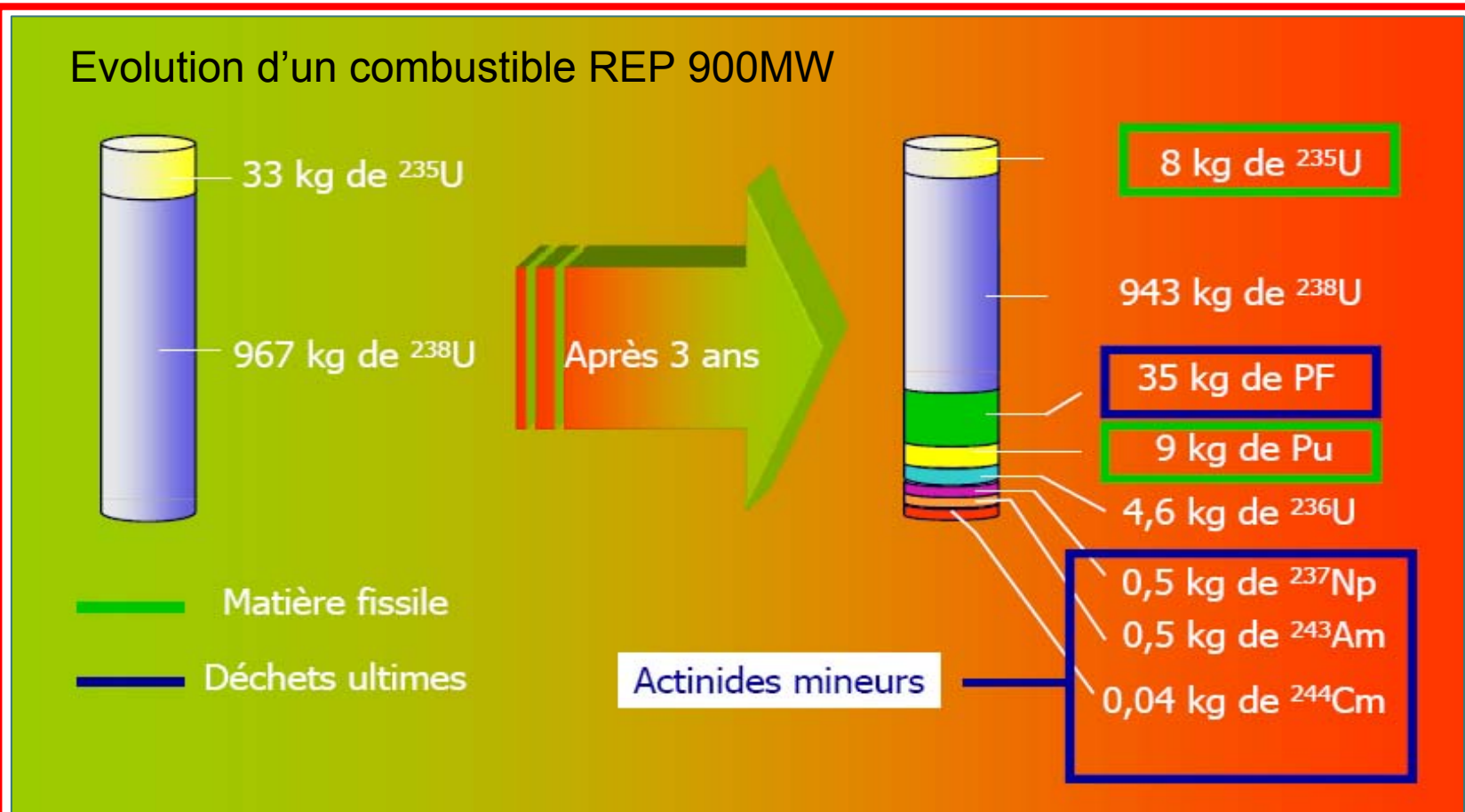
Mesure de $\sigma_{175\text{Lu}(n,\gamma)}$ via la méthode de substitution.

4

Perspectives

Le contexte énergétique et le problème des déchets nucléaires

→ L'énergie nucléaire: une énergie d'avenir?



→ Stockage en site géologique profond

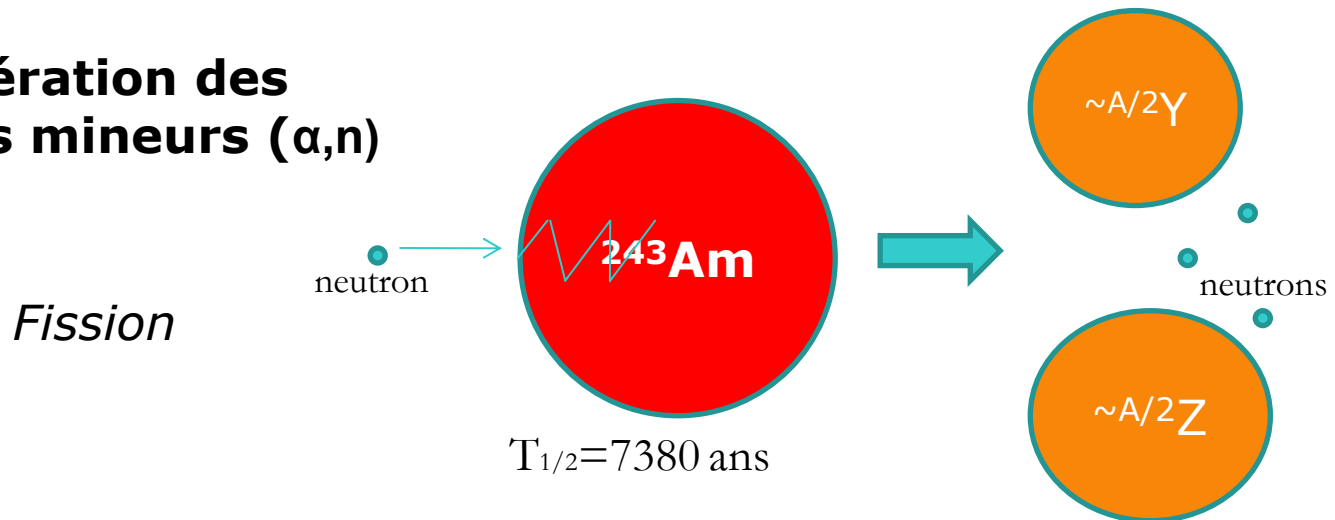
→ Transmutation: décroître la radiotoxicité des déchets avant stockage

Transmutation et besoins en données neutroniques

Transmutation des produits de fission (β)



Incinération des actinides mineurs (α, n)



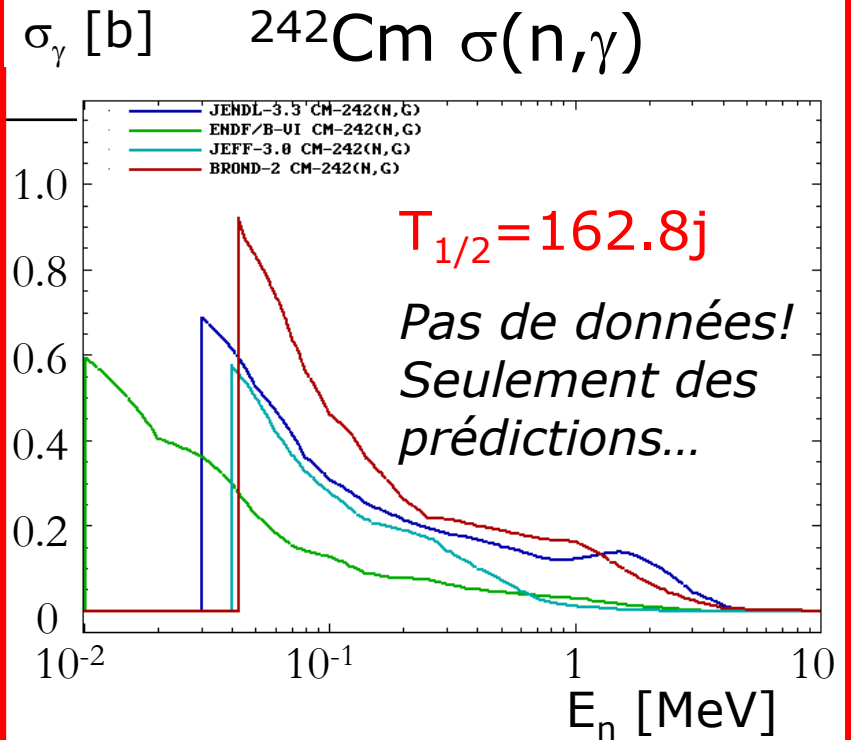
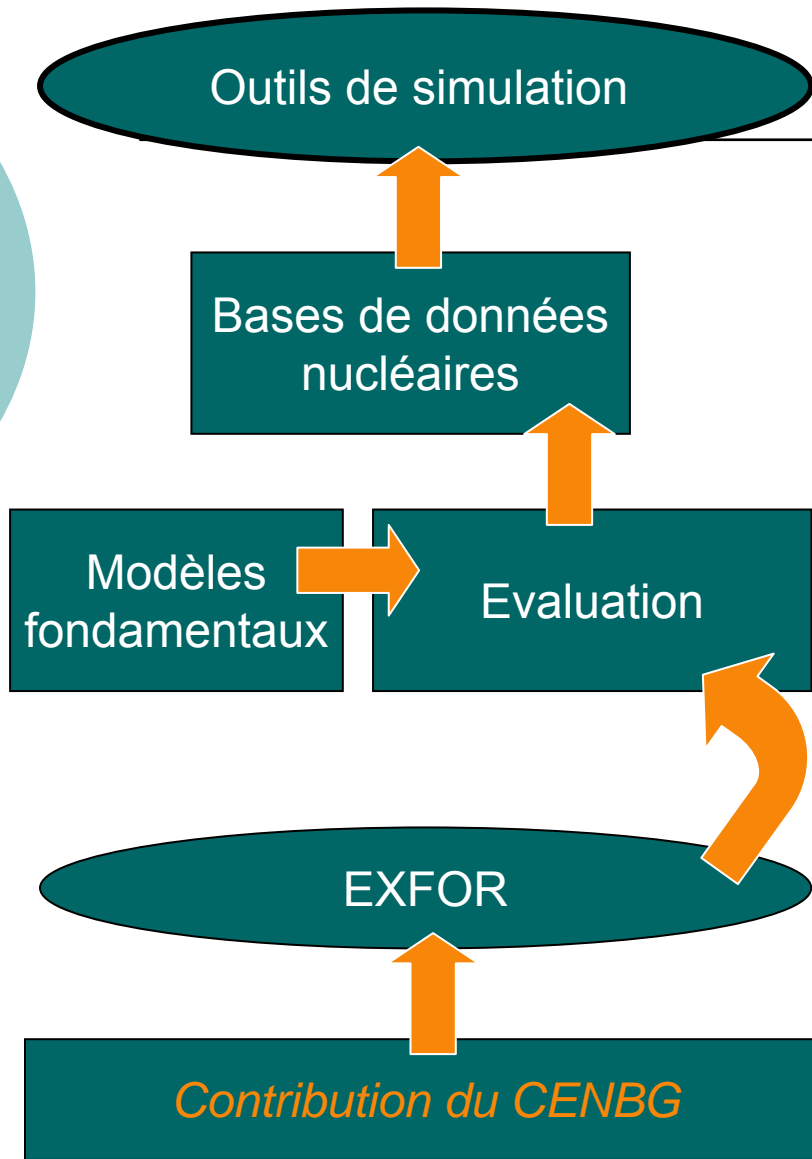
Pouvoir d'incinération

$$\alpha = \frac{\sigma_{\text{capture}}}{\sigma_{\text{fission}}}$$

- Incinération via **RNR**
- Incinération via **ADS**

\rightarrow NEUTRONS RAPIDES

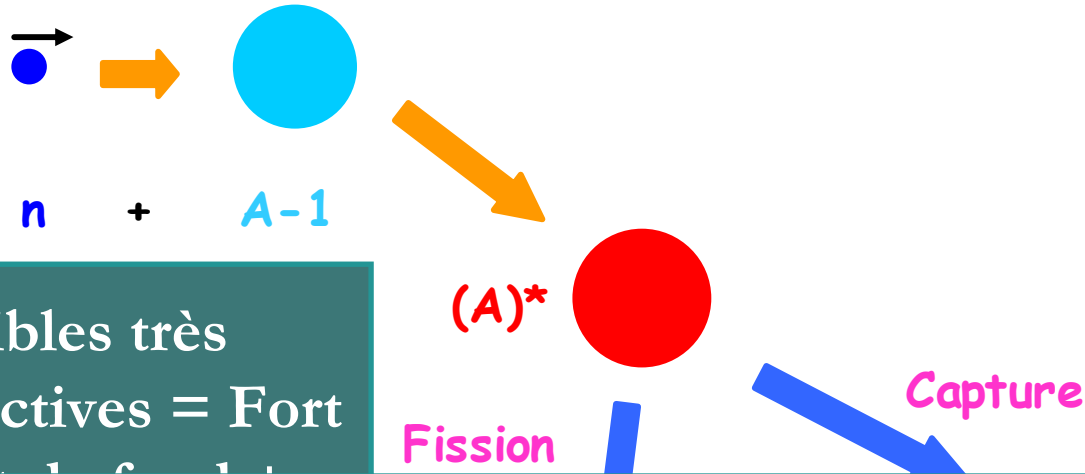
Contexte des données neutroniques



- Bases de données incomplètes
 - Difficultés pour les expérimentateurs
- Faible demi-vie = Cible extrêmement radioactive

Comment mesurer des sections efficaces neutroniques?

Réaction induite par neutrons



Cibles très radioactives = Fort

Nous considérons que les états J^π du noyau composé par les deux réactions sont identiques \rightarrow

$$P_{\text{neutron,decay}}(E^*) = P_{\text{transfer,decay}}(E^*)$$

La méthode
« surrogate »

$$\sigma_{\text{decay}}^{A-1}(En) \cong \underbrace{\sigma_{NC}^A(En)}_{\text{Calculée}} \cdot \underbrace{P_{\text{decay}}^{A,\text{transfert}}(E^*)}_{\text{Mesurée}}$$

Calculée (modèle semi-optique) au CEA-BI III

Mesurée

J.D. Cramer et H.C. Britt, Nucl. Sci. And Eng. 41 (1970) 177

Probabilité de réaction
induite par neutrons

$$P_{neutron,decay}(E^*) = \sum_{J^\pi} P_{neutron}^{form}(E^*, J^\pi) \cdot G_{decay}(E^*, J^\pi)$$

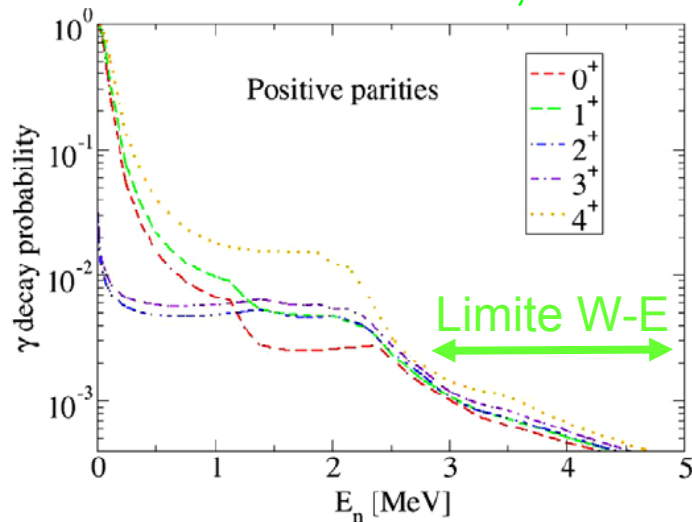
Probabilité de réaction
induite par transfert

$$P_{transfert,decay}(E^*) = \sum_{J^\pi} P_{transfert}^{form}(E^*, J^\pi) \cdot G_{decay}(E^*, J^\pi)$$

$P_{neutron,decay}(E^*) = P_{transfert,decay}(E^*)$ if...

La probabilité de décroissance est indépendante de l'état quantique J^π du noyau composé qui décroît.

$$G_\gamma(E^*, J^\pi) = G_\gamma(E^*)$$

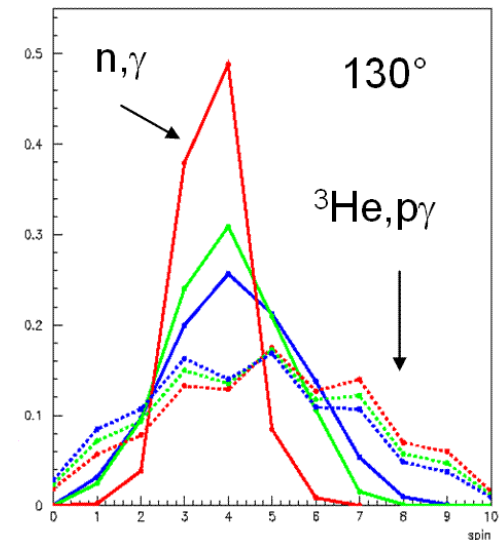


Limite Weisskopf-Ewing :
Elle est valide à haute E^ car la décroissance y est dominée par la statistique des densités de niveaux.*

Probabilité calculée de capture neutronique $G_\gamma^{transfert}(E, J, \pi)$ pour $^{92}\text{Zr}^*$ en fonction du moment angulaire J et de l'énergie cinétique du neutron E_n . (Escher)

$$P_{neutron}^{form}(E^*, J^\pi) \approx P_{transfert}^{form}(E^*, J^\pi)$$

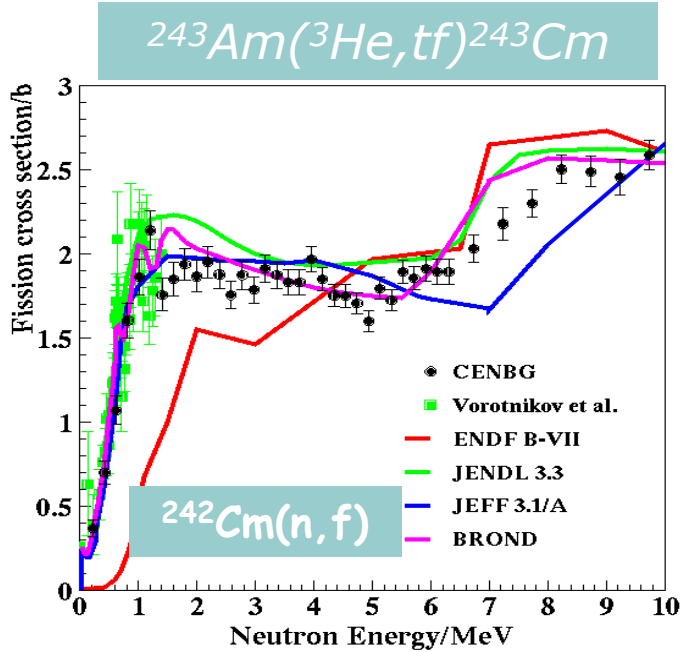
Faible "J $^\pi$ population mismatch"



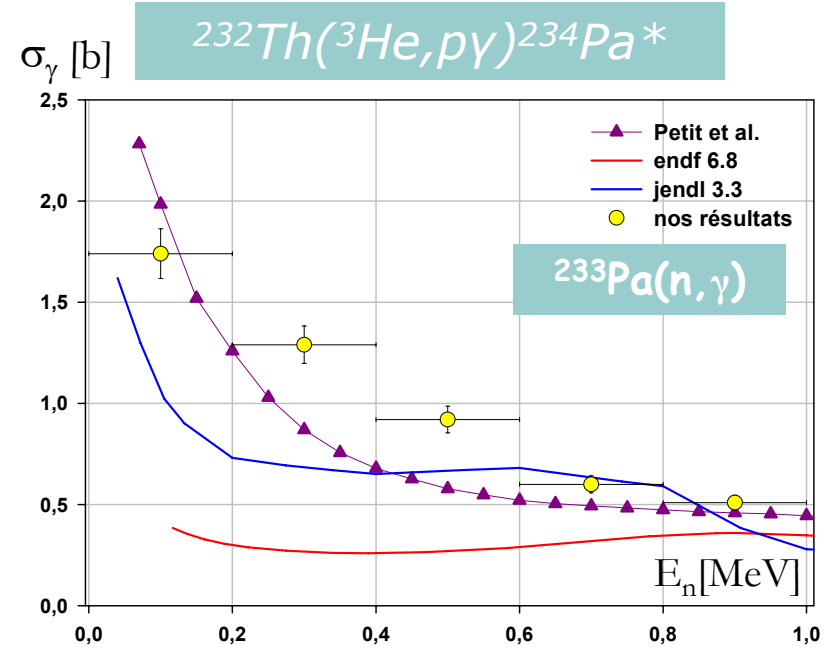
Distribution en spin du noyau composé pour $^{175}\text{Lu}(n,g)^{176}\text{Lu}$ (trait plein) pour $E_n=100$ keV (rouge), 1 MeV (vert) and 2 MeV (bleu) et pour $^{174}\text{Yb}(^3\text{He},p\gamma)^{176}\text{Lu}$ (pointillé), pour $E^*=6$ MeV (rouge), 7 MeV (vert) et 8 MeV (bleu). (JM Daugas, CEA)

ou

Le passé de la méthode « surrogate » au CENBG

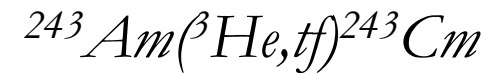


PhD Thesis G. Kessedjian - Université Bordeaux I - 2008



S. Boyer, et al. Nucl. Phys. A 775 (2006) 175

Sections efficaces de fission pour des isotopes de Cm → Validation de la méthode



Sections efficaces de capture pour ^{233}Pa , mais malheureusement, pas de mesure induite $^{232}\text{Th}(\beta\text{He},p\gamma)^{234}\text{Pa}^*$ par neutrons pour comparaison.

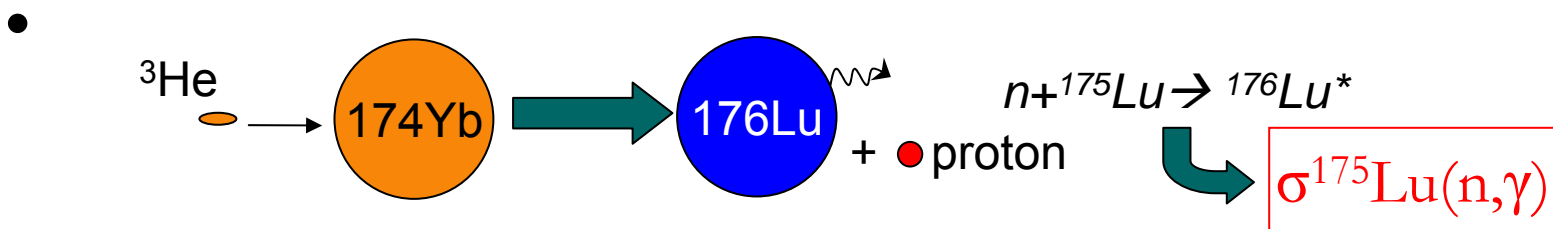
Ma thèse: mesurer des sections efficaces de capture neutronique d'actinides via la méthode "surrogate" dans le but de la valider.

Validation de la méthode « surrogate » pour la mesure de sections efficaces de capture neutronique

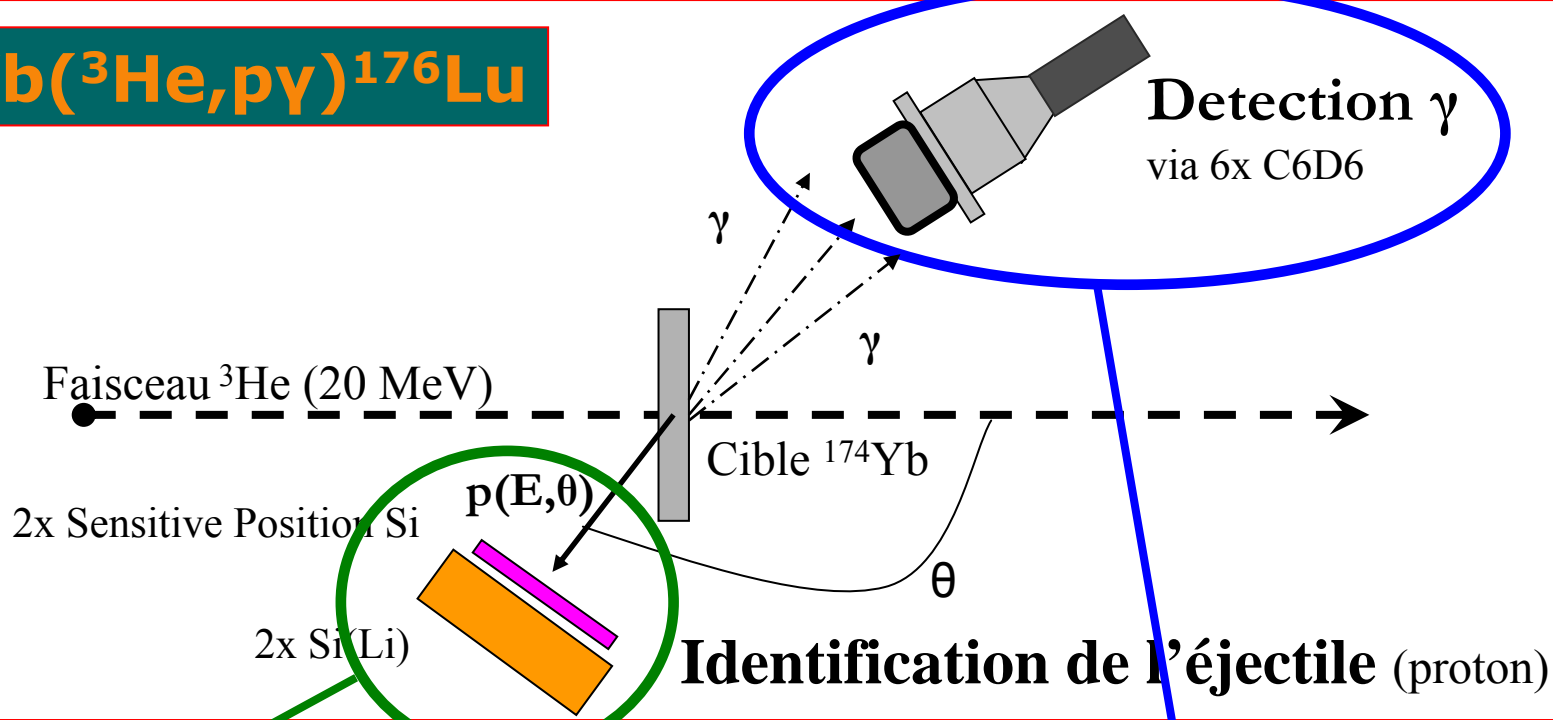
- Indisponibilité de cible dans la région des actinides
- Mais il est possible en attendant de tester plusieurs réactions de transfert avec des cibles stables.



- Section efficace bien connue (idéale pour une comparaison avec les mesures induites par neutrons)
- Région d'intérêt pour l'astrophysique.



Methodologie pour la mesure de section efficace de capture de ^{175}Lu



Identification du proton =
Signature du $^{176}\text{Lu}^*$

Paramètres cinétiques:
à partir de E et θ , on détermine E^*
(énergie d'excitation du noyau A^*)

Identification des particules (CsI1 vs PSD)

Coincidence proton + γ

Probabilité d'émission
gamma du ^{176}Lu
 $P_\gamma(E^*) = N_{\gamma p} / \epsilon_\gamma \cdot N_p$

$\sigma^{175}\text{Lu}(n, \gamma)$
Protons

E (canaux)

Perspectives

- Valider de la méthode "surrogate" pour la région des actinides.



- Compléter ou réactualiser les données nucléaires pour les actinides d'intérêt pour la transmutation mais aussi pour des noyaux relatifs au cycle du thorium, aux produits de fission ainsi qu'à l'astrophysique.