



mercredi 13 décembre 2017

Etude de voies de production d'isotopes radioactifs d'intérêt pour la médecine nucléaire

Cas du Technétium

**Unité mixte de recherche
CNRS-IN2P3
Université Paris-Sud 11**

91406 Orsay cedex
Tél. : +33 1 69 15 73 40
Fax : +33 1 69 15 64 70
<http://ipnweb.in2p3.fr>

Besoins

- Imagerie médicale (scintigraphie) : 100 000 / jour dans le monde, 4000 en France
- Dose nécessaire : 20mCi/scan

Production par réacteur

- Peu de centres de production : 9 réacteurs (Canada, Belgique, France, Pays-Bas, Afrique du Sud, Australie, Pologne, République tchèque), ouverture de 2 autres en 2018 (Allemagne, Corée du Sud) et RJH (Cadarache)
- Approvisionnement parfois critique du à la vétusté de certaines installations : Réacteurs à l'arrêt (Osiris, NRU (Ca), BR2 (B, 18 mois), panne en 2009 (Pays-Bas et Canada)
- Prix ne reflétant pas le coût réel (installation, exploitation, démantèlement)

Production par accélérateur

A Triumf, résultats sur les solutions par accélérateur :

- Direct => $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$: doit être utilisé rapidement.
- Ariel : Photo-fission => faisceau de 50 MeV

CLS : faisceau de e^- sur Hg, Tg, puis réaction $^{100}\text{Mo}(n,2n)^{99}\text{Mo}$.

Production pas faisceau de deuton sur Molybdène naturel

Composition isotopique du Molybdène naturel :

^{92}Mo	^{94}Mo	^{95}Mo	^{96}Mo	^{97}Mo	^{98}Mo	^{100}Mo
14.84%	9.25%	15.92%	16.68%	9.56%	24.13%	9.63%

Réactions produisant le ^{99}Mo pour la filiale ^{99}Tc par réacteur :

- $^{98}\text{Mo}(d,p)/(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$
- $^{100}\text{Mo}(n,2n)/(d,dn)/(d,p2n)^{99}\text{Mo}$

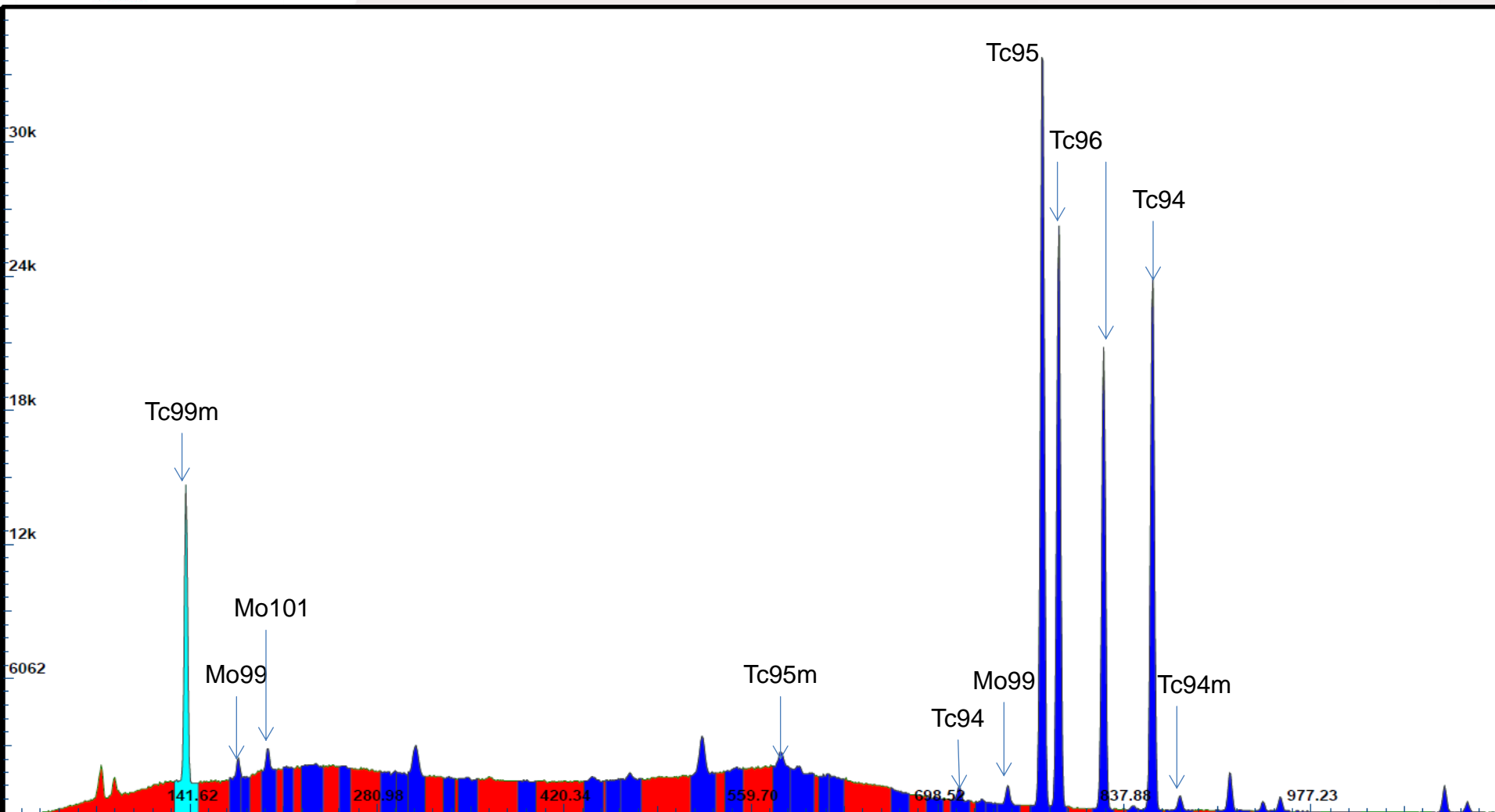
Résultats avec $^{\text{nat}}\text{Mo}$ (200 μm) et $^{\text{nat}}\text{Mo}$ (200 μm) + C (10 μm) Faisceau Deuton (25MeV, 1.2nA) $\Delta E=-4.5\text{MeV}$

$^{\text{nat}}\text{Mo}(d,x)^{99}\text{Mo} \Rightarrow \sigma_{\text{prod.}}=31 \text{ mb}$, dose $\Rightarrow 20.4\text{mCi/C}$ (73.4 $\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$)

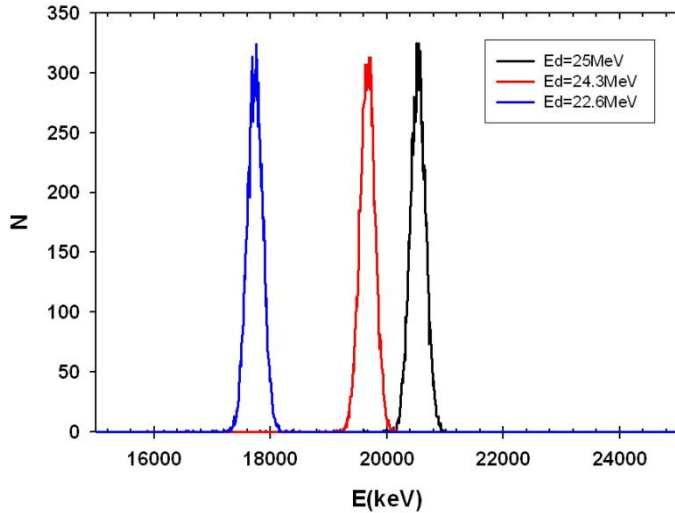
$^{\text{nat}}\text{Mo}+\text{C}(d,x)^{99}\text{Mo} \Rightarrow \sigma_{\text{prod.}}=34 \text{ mb}$, dose $\Rightarrow 22.1\text{mCi/C}$ (79.6 $\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$)

En accord avec S. Takács et al.

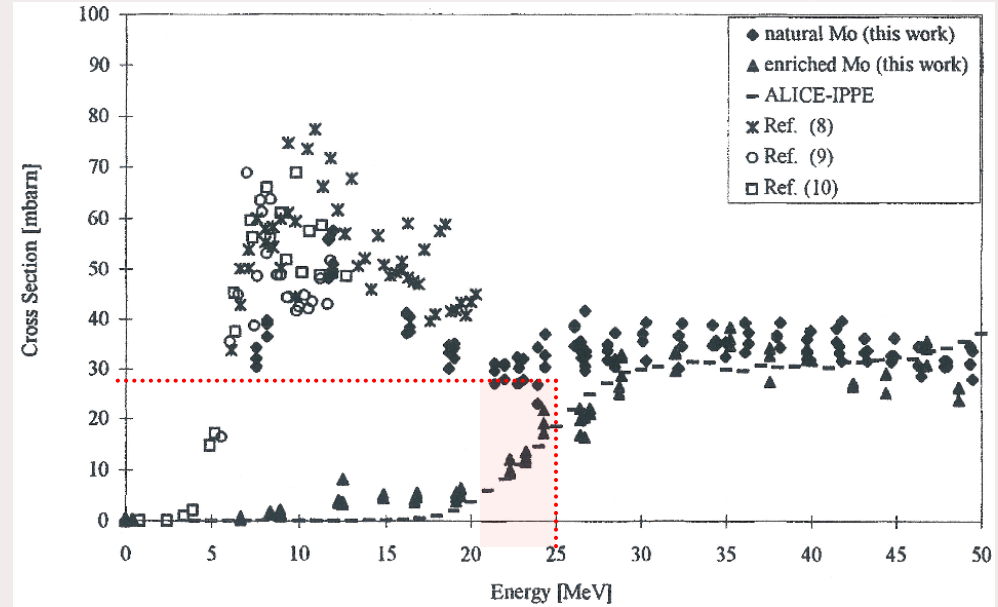
Analyse typique : (ppm) Al <20, Ca <20, Cr <50, Cu <20, Fe 50, K <2, Mg <20, Pb <30, Si <50, Ti <30, W 10, C 40, H 5, N 10, O 30.



$\text{D}(25\text{MeV}) \Rightarrow \text{C}(10,100,300\mu\text{m})$
 $\Rightarrow \text{Mo}(\text{Nat})200\mu\text{m}$



Calcul de l'énergie de sortie
SRIM



Section efficace de production $^{\text{nat.}}\text{Mo}(d,x)^{99}\text{Mo}$
Sonck et al., Proceedings of 15th Applications of Accelerators in
Research and Industry, 1999, p987

Réactions d->C	Q(MeV)	Réactions d->C	Q(MeV)
(d,n)	-0.28	(d,2n)	-20.34
(d, α n)	-9.78	(d,3n)	-36.38
(d,dn)	-18.72	(d,p2n)	-20.95
(d,pn)	-2.22	(d,p3n)	-34.07

Optimisation de la production
de ^{99}Mo (activité spécifique,
impuretés,...)

Moyens disponibles

Alto : large éventail de faisceaux disponibles

Accélérateur de type Tandem 14.5MV

Ions disponibles : p \rightarrow Au

Accélérateur e⁻ \Rightarrow photofission

Diagnostic et détection

Diagnostic faisceau

Analyse cible (gamma, structure, composition chimique)

Production des cibles

Logiciels de simulation

Fluka, MCNPX...

Cas des autres isotopes pour l'imagerie nucléaire

- ➔ **^{89}Zr** : émetteur gamma de 909 keV ; 78 h de période (imagerie) produit par (p, γ) sur ^{89}Y . Nous pourrions explorer la voie (d,2n) ou (p,n) pour cette production
- ➔ **^{64}Cu** : émetteur positron beta et gamma, 12 h de période (production en local proche du lieu d'utilisation) ; très réactifs au niveau chimique. Produit par neutrons thermiques sur ^{63}Cu , par (n,p) sur ^{64}Zn , mais surtout par (p,n) sur ^{64}Ni (RI 1%). *(a voir l'intérêt des deutons pour du (n, γ) et (d,p) sur ^{63}Cu ainsi que (d,2n) sur ^{64}Ni (RI ^{63}Cu à 69.1%, ^{65}Cu à 30.9%))*
- ➔ **^{211}At** : pour traitement (fixation directe sur tumeurs) émetteur alpha 5.8 MeV, 7,2 h de période. Production via $^{209}\text{Bi}(\alpha,2n)^{211}\text{At}$ ou réaction de transfert (C...). Production simple des cibles (évaporation à 300°)

Alto : Support à la R&D sur les scénarios de production

- Mesures de sections efficaces de production pour une large gamme de scénarios de production (faisceaux et cibles)
- Optimisation de scénarios existants (simulation et expériences)
- Peu venir en support aux machines dédiées (Arronax, Cyrcé)
- Peu préparer la définition d'un Linac e^- dédié

Quelle place à la R&D sur Radio-isotopes à usage médical?

- Comment structurer ces activités localement?
- Implications des laboratoires dans le GDR MI2B?
- Collaborations futures : besoins, synergies, ...?