



# Retour d'expérience sur l'utilisation d'émetteurs $\alpha$ en radiothérapie interne vectorisée : guide pratique et étude de cas de l' $\text{Ac}^{225}$



Nicolas Sas

Journées d'Enseignement et de Formation en Médecine Nucléaire, AFTMN  
Session Radioprotection et Réglementation



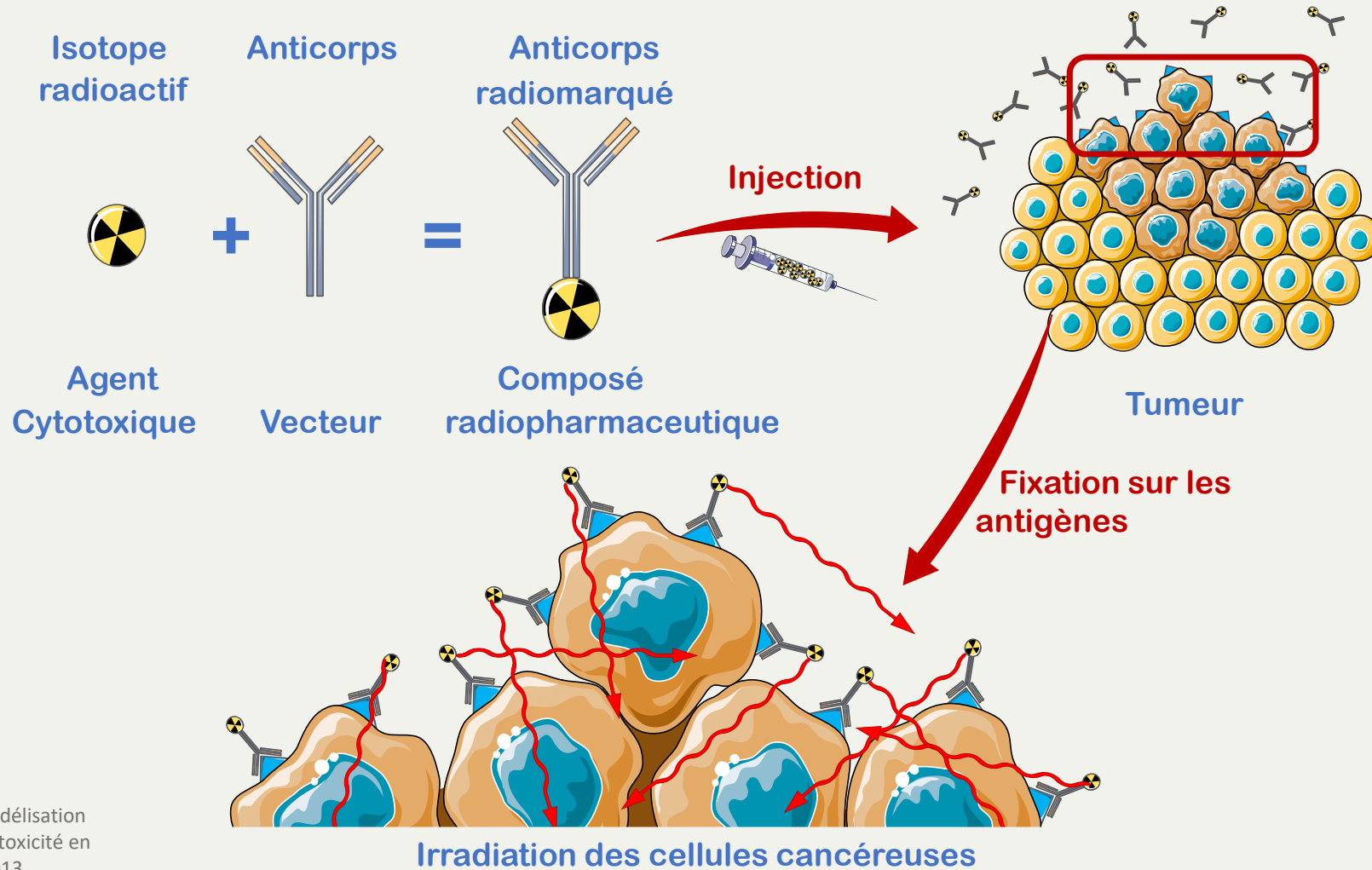
19 au 21 mars 2026 , Belfroi de Montrouge, France





# Contexte & enjeux

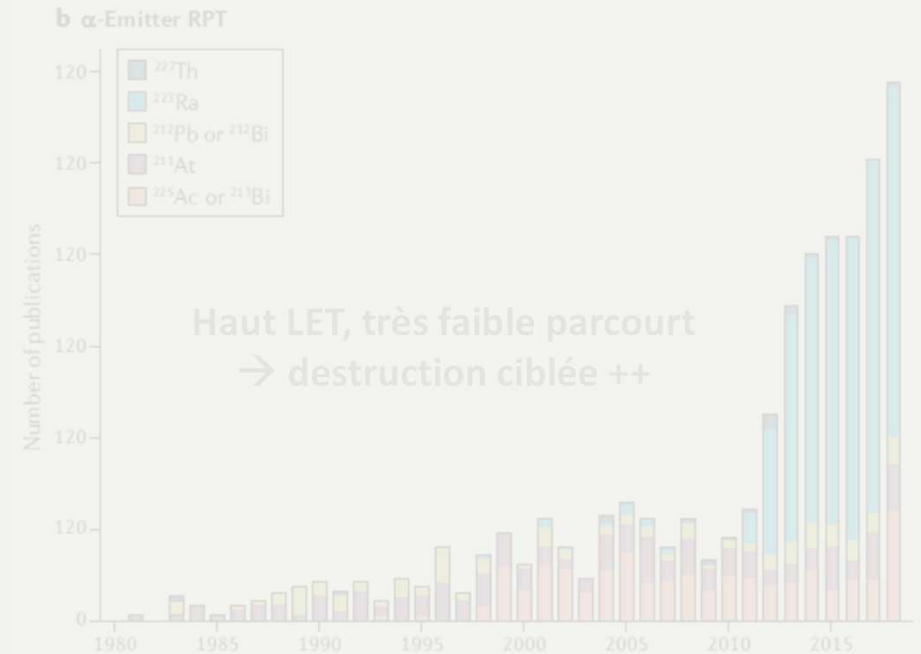
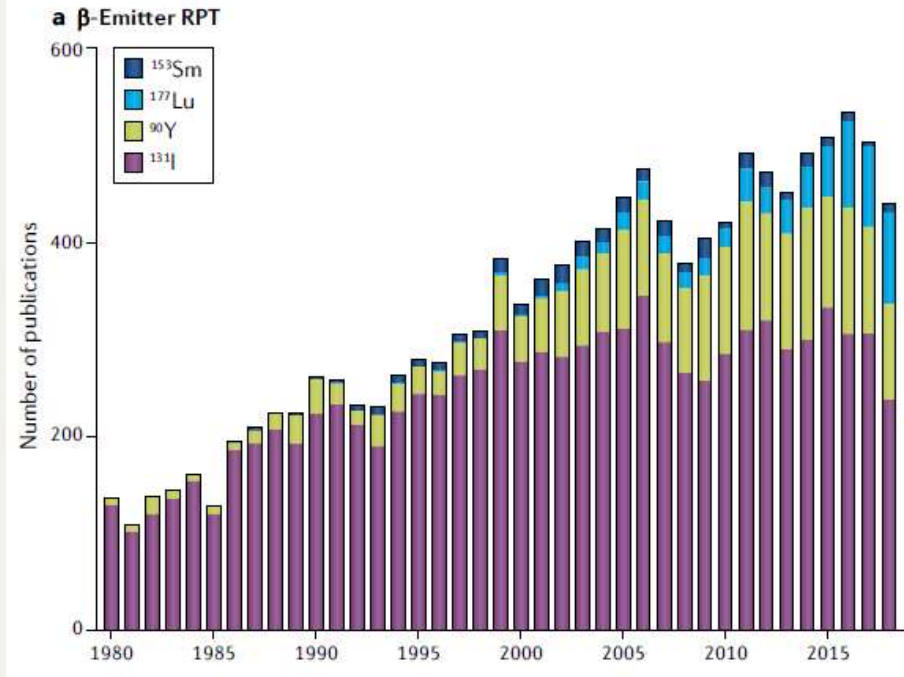
## La radiothérapie interne vectorisée (RIV)





# Contexte & enjeux

## Monté en puissance des émetteurs $\alpha$ en RIV



Haut LET, très faible parcours  
 → destruction ciblée ++

Mean energy	50-2300 keV	
Path-length	Tumors, tissues ( $\leq 12$ mm)	
LET	$< 1$ keV/ $\mu$ m	
Examples of radionuclides	$^{161}\text{Tb}$ , $^{177}\text{Lu}$ , $^{90}\text{Y}$	

Mean energy	5-9 MeV	
Path-length	$< 10$ cells (50-100 $\mu$ m)	
LET	$\sim 80$ keV/ $\mu$ m	
Examples of radionuclides	$^{149}\text{Tb}$ , $^{225}\text{Ac}$ , $^{223}\text{Ra}$	

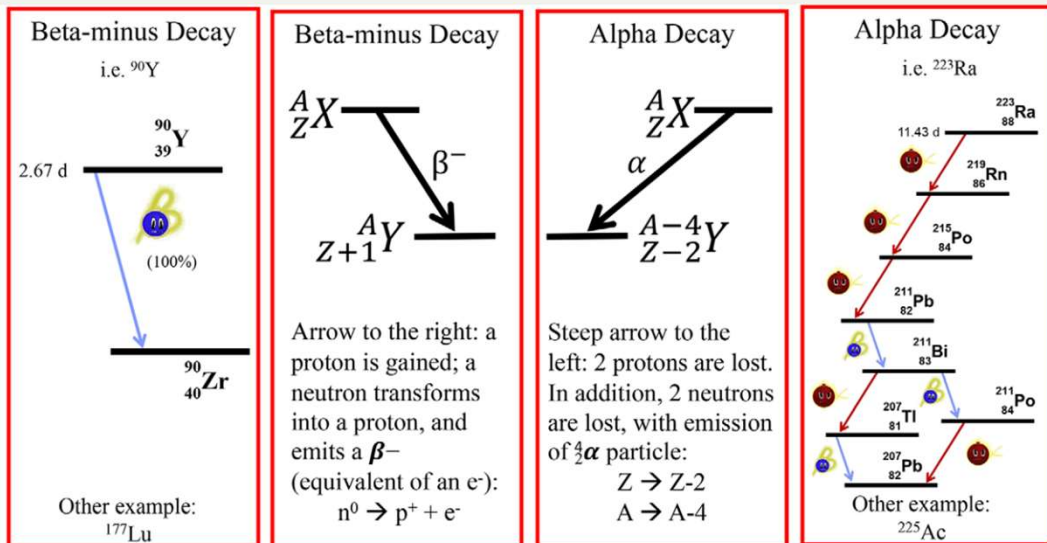
Sgouros et al. Radiopharmaceutical therapy in cancer: clinical advances and challenges. Nat Rev Drug Discov. 2020 Sep;19(9):589-608.

Van Laere et al. Terbium radionuclides for theranostic applications in nuclear medicine: from atom to bedside. Theranostics 2024 14(4):1720-1743.

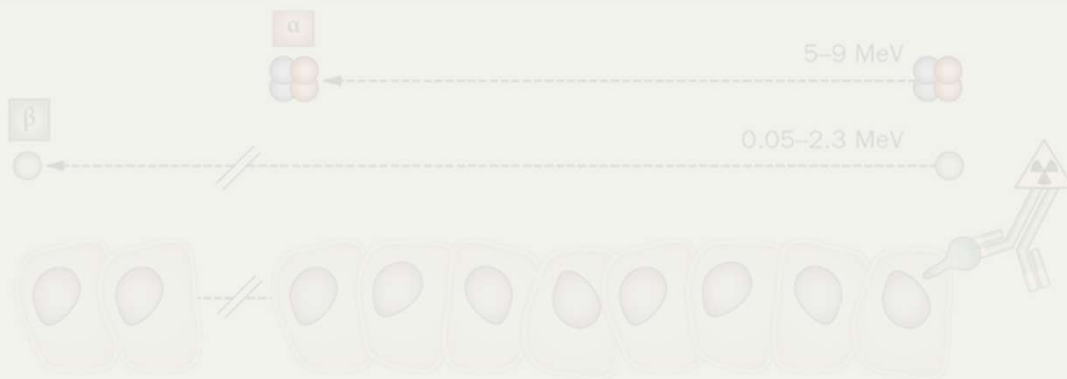


# Propriétés physiques & radiobiologie

## Désintégration $\beta^-$ et $\alpha$



Sedlack et al. Radiographics. 2024



Pouget et al. Clinical radioimmunotherapy—the role of radiobiology. Nat Rev Clin Oncol 8, 720–734 (2011)

## Expositions des travailleurs potentielles

$\gamma, X$

La source de rayonnement peut se trouver à l'extérieur de l'organisme et à distance :  
**exposition externe**

$\gamma, X, \beta$

La source de rayonnement peut se trouver à la surface de la peau :  
**contamination corporelle externe**

**Contamination interne**

$\gamma, X, \beta, \alpha$

La source de rayonnement peut se trouver dans l'organisme :

- Inhalation : air contaminé par un gaz/vapeur ou aérosol
- Ingestion : substance radioactive solide ou liquide
- Transfert transcutané à travers la peau lésée (blessure) ou non.

Après pénétration dans l'organisme, l'exposition interne de l'organisme se poursuivra tant que la substance radioactive n'aura pas été éliminée naturellement par l'organisme et que celle-ci continuera d'émettre des particules ionisantes

Par inhalation de particules radioactives

Par ingestion d'aliments contaminés

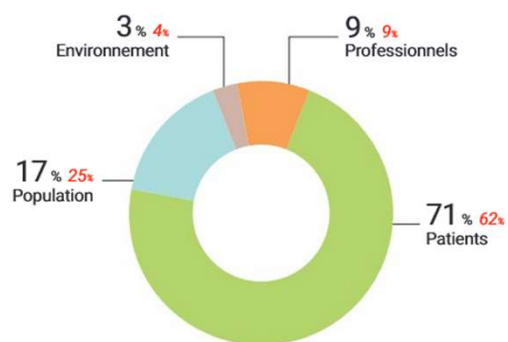
Par passage cutané (plaie)



# Objectifs d'une étude de poste

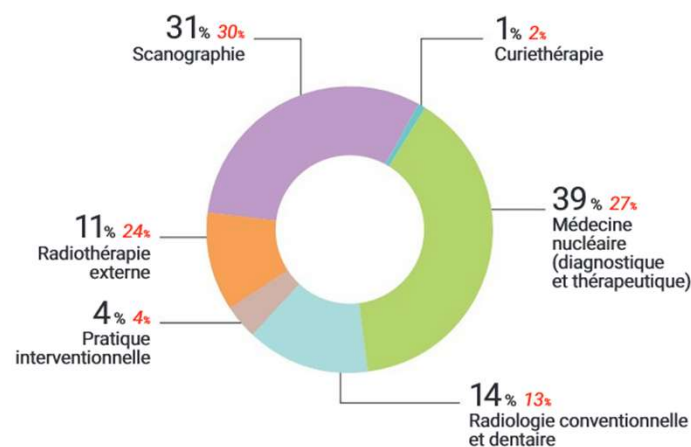
## ESR dans le domaine médical

**GRAPHIQUE 15** Répartition (en %) des ESR par domaine d'exposition en 2024



En rouge: moyenne du nombre d'ESR déclarés au cours des 10 années précédentes.

**GRAPHIQUE 16** Répartition (en %) des ESR par catégorie d'activité concernée en 2024



- Evaluer doses prévisibles pour personnel (mains, corps entier), contamination, air ambiant, surface.
- Définir barrières & procédures opérationnelles, EPI, instrumentation.
- Etablir monitoring et fréquence de contrôles, disposition des déchets.



# Implications pour la radioprotection

## Temps, distance écrans

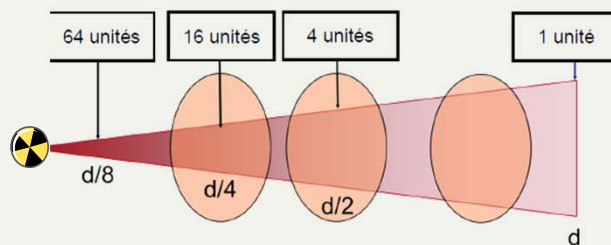
### Temps

- Limiter le temps de présence auprès des patients injectés
- Evacuer régulièrement les déchets...



### Distance

- Augmenter la distance entre vous et le patients



### Ecrans



## Protection contre l'exposition interne et contamination

Le blindage des particules alpha n'est pas un problème majeur !

MAIS :

Les particules alpha déposent leur énergie sur une très courte distance, => elles causent des dommages locaux plus importants. Les mesures de radioprotection doivent se concentrer sur la prévention de l'internalisation (ingestion accidentelle).





# Exemple de l'<sup>225</sup>Ac

## Propriété physique de l'<sup>225</sup>Ac

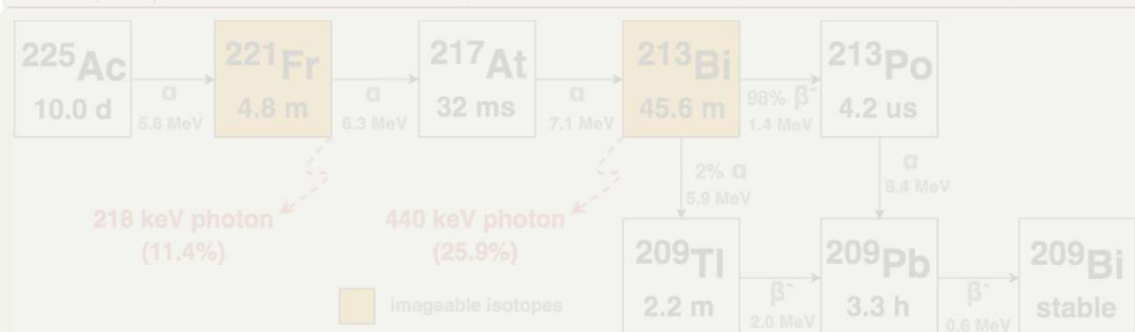
<sup>225</sup>Ac<sub>89</sub> Période : 10,0 jours    Activité massique : 1,29.10<sup>16</sup> Bq.g<sup>-1</sup>    Groupe de risque : 1  
 Produits de filiation : Ac-225 à Tl-209 et Pb-209 (voir annexe 4)

### Principales émissions

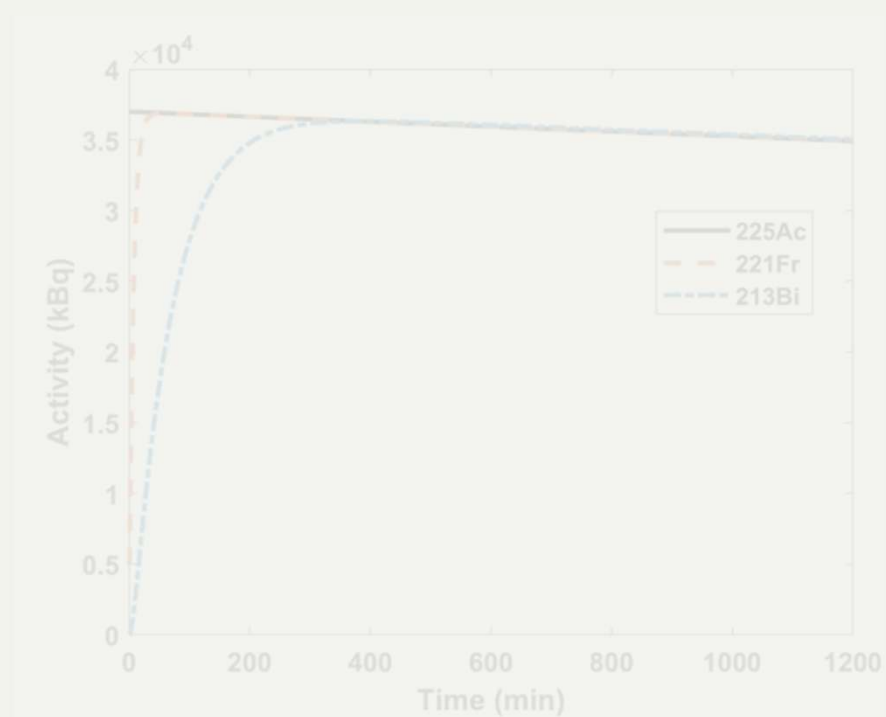
	Gamma / X		Beta (E <sub>max</sub> )		Electrons		Alpha	
	E (keV)	%	E (keV)	%	E (keV)	%	E (keV)	%
E1	218	13	980	32	122	2	5829	52
E2	440	76	1420	64	200	2	7066	100
E3	1567	2	1825	2	347	4	8377	100
% omis		27		101		66		51

### VI - Tête de la filiation : Actinium 225 (chaîne complète)

Radionucléides de la chaîne	Période	âge de l'Actinium 225		
		1 h	3 h	équilibre
Ac - 225	10,0 j	1	1	1
Fr - 221	4,8 mn	1,00	1,00	1,00
At - 217	32,3 ms	1,00	1,00	1,00
Bi - 213	45,6 mn	5,51.10 <sup>-1</sup>	9,30.10 <sup>-1</sup>	1,00
Po - 213	4,2 µs	5,40.10 <sup>-1</sup>	9,10.10 <sup>-1</sup>	9,82.10 <sup>-1</sup>
Tl - 209	2,20 mn	1,13.10 <sup>-2</sup>	2,00.10 <sup>-2</sup>	2,17.10 <sup>-2</sup>
Pb - 209	3,25 h	5,58.10 <sup>-2</sup>	3,18.10 <sup>-1</sup>	1,02
Activité totale pour 1 Bq d' Ac 225 :		4,2	5,2	6,0



Les principales émissions gamma pour toute la chaîne de décroissance de l'<sup>225</sup>Ac sont de 218 keV (<sup>221</sup>Fr) et 440 keV (<sup>213</sup>Bi) avec un rapport d'embranchement de 11 % et 26 % respectivement.



Robertson et al. Multi-isotope SPECT imaging of the <sup>225</sup>Ac decay chain: feasibility studies. Physics in medicine and biology. 2017



# Parcours max et atténuation de l'225Ac

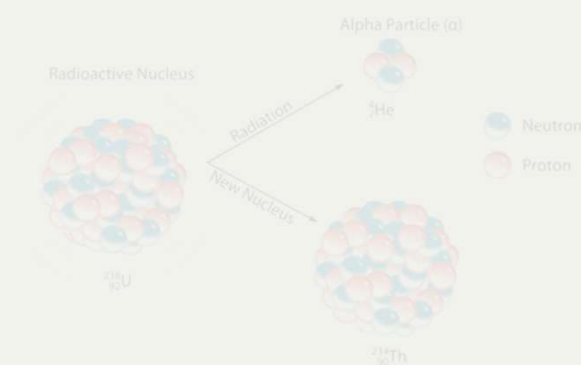
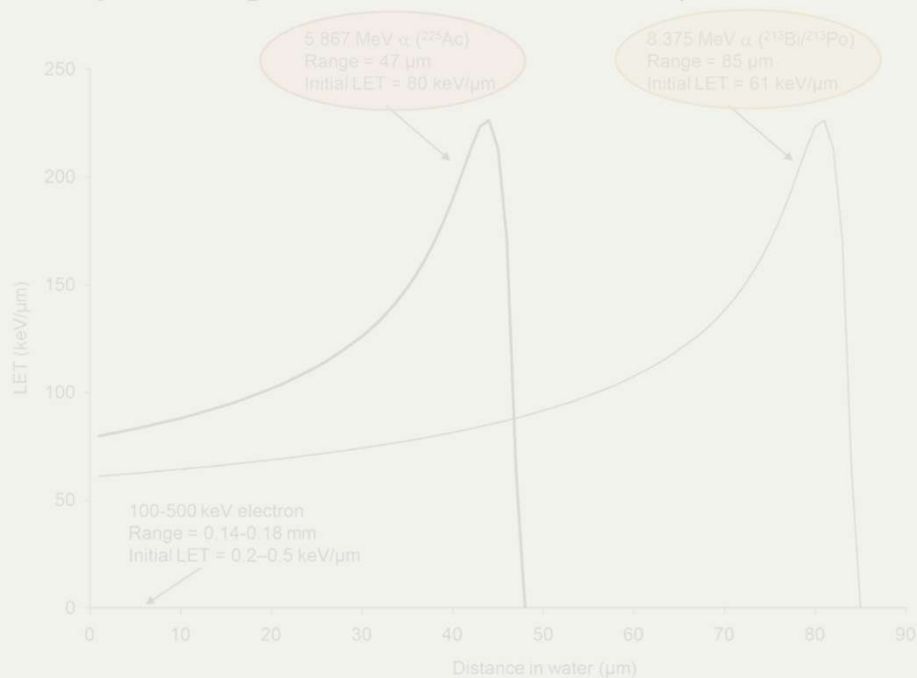
Parcours  $\alpha$  : La dose due aux rayonnements alpha pour les travailleurs est négligée du fait du parcours max dans l'eau de ces particules :

Pour alpha de 8,377 MeV : parcours max  $\approx 84 \mu\text{m}$ . Ainsi, les particules  $\alpha$  ayant un parcours  $< 100 \mu\text{m}$  sont arrêtés dans la paroi du flacon ou de la seringue et ne participent pas à l'exposition globale ou des mains du personnel.

Parcours  $\beta$  :

## Parcours $\beta$ et $e^-$ (mm)

Verre	2,8
Plexiglas	5,1





# Etude de poste

## Hypothèses de calcul & méthodologie

**Définir la méthodologie et les moyens nécessaires à la réalisation d'une étude de poste radiologique lors de l'introduction ou de la manipulation d'émetteurs  $\alpha$  (alpha) utilisés en radiothérapie interne vectorisée (RIV), afin d'assurer la sécurité du personnel, la conformité réglementaire et la maîtrise des expositions.**

### 1 Définir le périmètre

- Activité max manipulée (MBq / geste)
- Opérations : réception → préparation → injection → déchets

### 2 Caractériser le radionucléide

- Émissions :  $\alpha$  (+  $\gamma$ /X associés)
- Demi-vie et filiation

### 3 Conditions réelles de travail

- Temps de manipulation
- Distances main-source / tronc-source
- Équipements : enceinte ventilée, blindages, systèmes clos

### 4 Identifier les risques

- Externe : faible ( $\gamma$  associés)
- Interne : inhalation / ingestion
- Cutané : risque majeur (contamination)

### 5 Moyens de maîtrise

- Double gantage, absorbants
- Dosimétrie extrémités
- Contrôles de contamination
- Procédures accidentelles

En RIV  $\alpha$  : le risque principal n'est pas l'irradiation, mais la contamination.  
La radioprotection repose sur les gestes, l'organisation et l'anticipation.



# Etude de poste

## Préparation de l'étude de poste

### 1 Définition du périmètre

- Type d'activité :
  - Introduction d'un nouvel émetteur  $\alpha$
  - Nouvelle procédure
  - Modification de pratique ou d'activité
- Personnel concerné :
  - Radiopharmacien
  - Manipulateur
  - Médecin
  - Personnel de nettoyage / déchets (si pertinent)

### 2 Activité radioactive manipulée

- Identifier :
  - Activité maximale manipulée par geste (MBq)
  - Activité cumulée par séance
  - Nombre de séances / semaine / an
- Distinguer :
  - Activité en flacon
  - Activité en seringue
  - Activité résiduelle (déchet)

### 3 Conditions réelles de travail

Lister chronologiquement toutes les étapes :

- Réception du radionucléide
- Stockage
- Reconstitution / marquage
- Fractionnement
- Transfert flacon → seringue
- Administration au patient
- Rinçage / purge
- Gestion des déchets solides et liquides
- Nettoyage / décontamination

### 4 Paramètres opérationnels

Pour chaque geste :

- Durée moyenne de manipulation (t)
- Distance :
  - main – source
  - tronc – source
- Fréquence du geste



# Etude de poste

## Préparation de l'étude de poste

### 1 Définition du périmètre

- Type d'activité :
  - Introduction
  - Nouvelle pr
  - Modificatio
- Personnel concerné
  - Radiopharm
  - Manipulate
  - Médecin
  - Personnel c

### 2 Activité radioactive

- Identifier :
  - Activité ma
  - Activité cur
  - Nombre de
- Distinguer :
  - Activité en flacon
  - Activité en seringue
  - Activité résiduelle (déchets)

### 3 Conditions réelles de travail

Lister chronologiquement toutes les étapes :

- Réception du radionucléide

## Conclusions de l'étude de poste

- Niveau de risque global
- Classement des travailleurs
- Classement des zones
- Mesures de protection retenues
- Besoins en formation spécifique
- Actions d'optimisation ALARA

guides

(t)

- main – source
- tronc – source
- Fréquence du geste



# Etude de poste

Flacon Sans Ecran Coprs entier					
flacon 10ml à 5 cm	γ	3192	μSv/h		
flacon 10ml à 10 cm	γ	798	μSv/h		
flacon 10ml à 30 cm	γ	89	μSv/h		
flacon 10ml à 50 cm	γ	32	μSv/h		
flacon 10ml à 100 cm	γ	8	μSv/h		
flacon 10ml à 300 cm	γ	0,9	μSv/h		
Avec Protection Pb (mm)					
	2	4	9	21,5	30,5
facteur atténuation (build up dans protection)	1,32	1,74	3,48	19,70	68,59
flacon 10ml à 5 cm	2419	1833	917	162	47
flacon 10ml à 10 cm	605	458	229	41	12
flacon 10ml à 30 cm	67	51	25	5	1
flacon 10ml à 50 cm	24	18	9	2	0
flacon 10ml à 100 cm	6	5	2	0	0
flacon 10ml à 300 cm	1	1	0	0	0
Flacon Sans Ecran extrémités					
seringue 5 ml contact (dose extrémités)	γ	2310000	μSv/h		
flacon 10ml contact (dose extrémités)	γ	37800	μSv/h		
Avec Protection Pb (mm)					
	2,00	4,00	9	21,5	30,50
facteur atténuation (build up dans protection)	1,32	1,74	3,482	19,698	68,59
seringue 5 ml contact (dose extrémités)	1750653	1326747	663373	117269	33677
flacon 10ml contact (dose extrémités)	28647	21710	10855	1919	551

Énumération des tâches réalisées par les travailleurs aux postes de travail et fréquences des tâches lors de la dispensation et injection d'Ac225						
MERM corps entier						
Tâches	Temps dédié (min)	Protection (mm Pb)	Distance (m)	Dose efficace (μSv)	TOTAL (μSv)	% dose limite autorisée
Transport - passe plat chambre dédiées	10	9	0,30	4,2	6,3	1/1422ème dose limite
Administration en intraveineuse lente	10	21,5	0,30	0,8		
Temps de présence supplémentaire estimé auprès du patient injecté	10	0	1,00	1,3		
MERM extrémités						
Tâches	Temps dédié (min)	Protection (mm Pb)	Distance (m)	Dose équivalente (μSv)	TOTAL (μSv)	% dose limite autorisée
Transport - passe plat chambre dédiées	10	30,5	0,100	1,9	4,6	1/1454ème dose limite
Administration en intraveineuse lente	1	21,5	0,050	2,7		

**Point clé alpha :**  
Faible activité ≠ faible risque → la contamination reste le risque majeur



# Etude de poste

**Table 3** Dose conversion factors for effective whole body dose and equivalent dose to the extremities

	Point source		Vial 10 ml		Syringe 5 ml	Skin contamination		$H_{in}$ Sv/Bq	AMAD & clearance
	$H_p(10)$ 30 cm ( $\mu\text{Sv/h/Bq}$ )	$H_p(0.07)$ 10 cm ( $\mu\text{Sv/h/Bq}$ )	$H_p(10)$ 100 cm ( $\mu\text{Sv/h/Bq}$ )	$H_p(0.07)$ contact ( $\mu\text{Sv/h/Bq}$ )	$H_p(0.07)$ contact ( $\mu\text{Sv/h/Bq}$ )	$K_{unif}$ ( $\mu\text{Sv/h/Bq}$ $\text{cm}^2$ )	$K_{drop}$ 0.05 ml droplet ( $\mu\text{Sv/h/Bq}$ )		
Th-227	1.70E-06	7.5 E-06	1.40E-07	6.40E-04	6.10E-02	8.10E+00	6.00E+00	9.60E-06	1 $\mu$ , S
Ac-225	4.40E-07	2.40E-06	3.80E-08	1.80E-04	1.10E-02	3.50E+00	2.00E+00	7.90E-06	1 $\mu$ , S

**Source ponctuelle**

30 cm

ds  $2,2 \cdot 10^{-4}$   $\beta$  et e<sup>-</sup>

ds  $2,1 \cdot 10^{-6}$   $\gamma$  et X

dp  $4,4 \cdot 10^{-7}$   $\gamma$  et X

**flacon 10 ml**

100 cm

3,8 · 10<sup>-8</sup>

au contact  $1,8 \cdot 10^{-4}$

**Seringue 5 ml**

au contact  $1,1 \cdot 10^{-2}$

**Contamination de la peau**

dépôt uniforme (1 Bq·cm<sup>-2</sup>) 3,5

goutte de 0,05 ml (1 Bq) 2,0

$Al_{20inhalation}$  (Bq)<sup>(2)</sup> :  $2,5 \cdot 10^3$

$Al_{20ingestion}$  (Bq)<sup>(2)</sup> :  $8,2 \cdot 10^5$

**Table 4** Scheme of different clinical scenarios for the dose estimation to the professional staff

Preparation & injection: external exposure				
Phase description	Professional staff	Time (s) and distances (cm)	Shielding	
Preparation of a single dose	Technologist	120 @ contact with vial 300 @ 30 cm from the vial	The vial is in a lead holder	
Injection of a single dose	Medical staff	120 @ contact with syringe 120 @ 5 cm from the syringe (as an alternative evaluation) 300 @ 30 cm from the syringe	Beta-gamma shielding is recommended to adhere the ALARA principles	
Patient care (interacting with patient)	Medical staff/nurse	600 @ 50 cm	No shield	

## Targeted alpha therapy in the clinical practice: radiation protection considerations

Anna Sarnelli<sup>1,2</sup>, Emilio Mezzenga<sup>1</sup>, Robert P. Kollaard<sup>2</sup>, Ellis G. Winters<sup>2</sup>, Govert De With<sup>2</sup>, Renata Mikolajczak<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Medical Physics Unit, IRCCS, Istituto Romagnolo per lo Studio dei Tumori (IRST) "Dino Amadori", Meldola, Italy

<sup>2</sup> NRGIPALLAS, Westerdijkweg 3, Petten, The Netherlands

<sup>3</sup> Radiosotope Centre POLATOM, National Centre for Nuclear Research, Otwock, Poland

Received: 17 February 2025 / Accepted: 31 July 2025

© The Author(s) 2025

Guide pratique  
Radionucléides & Radioprotection  
D. Delacroix • J.P. Guerre • P. Leblanc



# Etude de poste

## Demande d'activité maximale détenue

Réception de 10 MBq d'<sup>225</sup>Ac


T <sub>phys</sub> (jours)	9,92	Ajout de la semaine (MBq)	15,8	Schéma 1		Schéma 2	
Semaine	Jour	Decroissance (MBq)	Activité détenue (MBq)	Semaines	Patients	Semaines	Patients
1	Jeudi	0,0	15,8	1	A1	1	A1
2	Jeudi	9,7	25,5	2	B1	2	B1
3	Jeudi	15,6	31,4	3	C1	3	C1
4	Jeudi	19,3	35,1	4	D1	4	D1
5	Jeudi	21,5	37,3	5	E1	5	E1
6	Jeudi	22,9	38,7	6	F1	6	F1
7	Jeudi	23,7	55,3	7	G1 A2	7	A2
8	Jeudi	33,9	65,5	8	H1 B2	8	B2
9	Jeudi	40,2	71,8	9	I1 C2	9	C2
10	Jeudi	44,0	75,6	10	J1 D2	10	D2
11	Jeudi	46,4	62,2	11	E2	11	E2
12	Jeudi	38,1	53,9	12	F2	12	F2
13	Jeudi	33,1	64,7	13	A3 G2	13	A3
14	Jeudi	39,6	71,2	14	B3 H2	14	B3
15	Jeudi	43,7	75,3	15	C3 I2	15	C3
16	Jeudi	46,2	77,8	16	D3 J2	16	D3
17	Jeudi	47,7	63,5	17	E3	17	E3
18	Jeudi	38,9	54,7	18	F3	18	F3
19	Jeudi	33,6	65,2	19	G3 A4	19	A4 G1
20	Jeudi	40,0	71,6	20	H3 B4	20	B4 H1
21	Jeudi	43,9	75,5	21	I3 C4	21	C4 I1
22	Jeudi	46,3	77,9	22	J3 D4	22	D4 J1
23	Jeudi	47,8	63,6	23	E4	23	E4
24	Jeudi	39,0	54,8	24	F4	24	F4
25	Jeudi	33,6	65,2	25	A5 G4	25	A5 G2
26	Jeudi	40,0	71,6	26	B5 H4	26	B5 H2
27	Jeudi	43,9	75,5	27	C5 I4	27	C5 I2
28	Jeudi	46,3	77,9	28	D5 J4	28	D5 J2
29	Jeudi	47,8	63,6	29	E5	29	E5
30	Jeudi	39,0	54,8	30	F5	30	F5
31	Jeudi	33,6	65,2	31	G5 A6	31	A6 G3
32	Jeudi	40,0	71,6	32	H5 B6	32	B6 H3
33	Jeudi	43,9	75,5	33	I5 C6	33	C6 I3
34	Jeudi	46,3	77,9	34	J5 D6	34	D6 J3
35	Jeudi	47,8	63,6	35	E6	35	E6
36	Jeudi	39,0	54,8	36	F6	36	F6
37	Jeudi	33,6	49,4	37	G6	37	G4
38	Jeudi	30,3	46,1	38	H6	38	H4
39	Jeudi	28,3	44,1	39	I6	39	I4
40	Jeudi	27,0	42,8	40	J6	40	J4
41	Jeudi	26,3	26,3	41		41	
42	Jeudi	16,1	16,1	42		42	
43	Jeudi	9,9	9,9	43		43	G5
44	Jeudi	6,1	6,1	44		44	H5
45	Jeudi	3,7	3,7	45		45	I5
46	Jeudi	2,3	2,3	46		46	J5
47	Jeudi	1,4	1,4	47		47	
48	Jeudi	0,9	0,9	48		48	
49	Jeudi	0,5	0,5	49		49	G6
50	Jeudi	0,3	0,3	50		50	H6
51	Jeudi	0,2	0,2	51		51	I6
52	Jeudi	0,1	0,1	52		52	J6



	Ajout semaine	
Traitement	225Ac	
Activité reçue (MBq)	20,0	
Activité injectée (MBq)	14,0	
Déchets solides (MBq)	6,0	
Effluents liquides (MBq)	9,8	
Déchet + effluent (MBq)	15,8	
Patient non injecté (MBq)	+4,2	
Activité (MBq)	Débit de dose à 1 m (µSv/h) pour 1 Bq	dose à 1 m
14	3,80E-08	5,32E-01

Radionucléide	Activité maximale <sup>(2)</sup>
<sup>225</sup> Ac	100 MBq

# Gestion des effluents : CIDRRE



**IRSN**  
INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## CIDRRE

Calcul d'Impact des Déversements Radioactifs dans les REseaux

Accueil Comprendre l'impact **Calcul de l'impact**

**Radionucléides**

<input type="checkbox"/> C-11	<input checked="" type="checkbox"/> F-18	<input type="checkbox"/> Cr-51	<input type="checkbox"/> Cu-64	<input type="checkbox"/> Cu-67	<input type="checkbox"/> Zn-65
<input type="checkbox"/> Ga-67	<input checked="" type="checkbox"/> Ga-68	<input type="checkbox"/> Rb-86	<input type="checkbox"/> Sr-89	<input type="checkbox"/> Y-90	<input type="checkbox"/> Zr-89
<input checked="" type="checkbox"/> Tc-99m	<input checked="" type="checkbox"/> In-111	<input checked="" type="checkbox"/> I-123	<input type="checkbox"/> I-124	<input checked="" type="checkbox"/> I-125	<input type="checkbox"/> I-129
<input checked="" type="checkbox"/> I-131 ambu.	<input checked="" type="checkbox"/> I-131 hosp.	<input type="checkbox"/> Sm-153	<input type="checkbox"/> Tb-149	<input type="checkbox"/> Er-169	<input type="checkbox"/> Lu-177m
<input checked="" type="checkbox"/> Lu-177	<input type="checkbox"/> Re-186	<input type="checkbox"/> Re-188	<input checked="" type="checkbox"/> Tl-201	<input type="checkbox"/> Pb-212+	<input type="checkbox"/> Bi-212+
<input type="checkbox"/> Bi-213+	<input type="checkbox"/> Al-211	<input type="checkbox"/> Ra-223+	<input checked="" type="checkbox"/> Ac-225+		

[+ de RN >>](#)

**Activité annuelle administrée par les services (en MBq/an)**

**F-18**

**I-131 ambu.**

**Tl-201**

**Ga-68**

**I-131 hosp.**

**Lu-177**

**I-123**

**In-111**

**Ac-225+**

**I-125**

**Tc-99m**

**Débit d'eau annuel usée rejeté\*\* (en m<sup>3</sup>/an)**

**Débit d'eau entrant moyen dans la STEP (en m<sup>3</sup>/j)**  
 [-> disponible via le portail d'information sur l'assainissement communal](#)

**Calculer**

Dose efficace annuelle (en  $\mu\text{Sv}/\text{an}$ )

reçu par les travailleurs des réseaux de collecte et des stations d'épuration (STEP) pour dans 13635 m<sup>3</sup>/an d'eaux usées, en considérant un débit d'eau entrant moyen dans

RN	EGOUTIER		STEP		EVACUATION		EPANDAGE
	EMERGE $\mu\text{Sv}/\text{an}$	IMMERGE $\mu\text{Sv}/\text{an}$	File eaux $\mu\text{Sv}/\text{an}$	File boues $\mu\text{Sv}/\text{an}$	boues $\mu\text{Sv}/\text{an}$	boues $\mu\text{Sv}/\text{an}$	
F-18	8	9	1	1	0	0	0
Ga-68	34	106	1	0	0	0	0
Tc-99m	17	24	1	1	1	1	1
In-111	12	42	1	87	33	26	26
I-123	5	16	1	2	1	1	1
I-125	1	1	1	5	4	3	3
I-131 ambu.	94	110	1	223	149	282	282
I-131 hosp.	26	32	1	63	45	81	81
Lu-177	10	36	1	109	72	64	64
Tl-201	7	8	1	13	6	5	5
Ac-225+	1	1	1	3	3	2	2
<b>Σ E<sub>tot</sub></b>	<b>207</b>	<b>285</b>	<b>1</b>	<b>501</b>	<b>308</b>	<b>460</b>	<b>460</b>

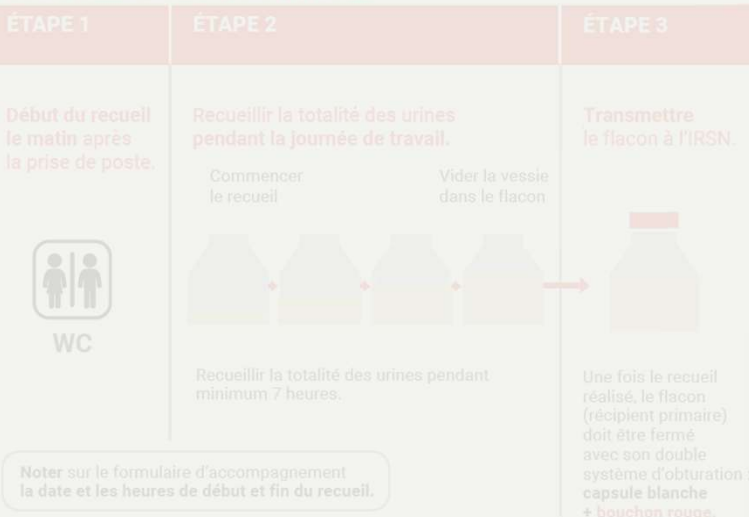
# Exemple contamination interne inhalation

## Lors d'une contamination par inhalation

Ce mode de contamination concerne des éléments radioactifs les plus volatils.

- S'assurer du suivi médical.
- Horodater et conserver toutes les urines de la victime pour examen radiotoxicologique (suivi de la décroissance de la contamination). Faire de même avec les mouchoirs. Une anthroporadiométrie peut s'avérer nécessaire.

## SURVEILLANCE DE CONTRÔLE



## Evaluation Dose efficace engagée

Radionucléide	<sup>131</sup> I
Voie de contamination	inhalation
Incorporation	aigüe
Param physico chimiques	DAMA = 5µm
Type d'absorption	F
Délai entre la mesure et l'événement	5

Evaluation Incorporation (Bq)	
Mesure observée t jours après contamination	50,00
Fraction pour 1Bq incorporé t jours après contamination (publi 78 CIPR)	8,90E-05
Incorporation (Bq)	561798

Evaluation Dose efficace engagée (mSv)	
DPUI (Sv.Bq-1)	1,10E-08
Incorporation (Bq)	561798
Dose efficace engagée (mSv)	6,2

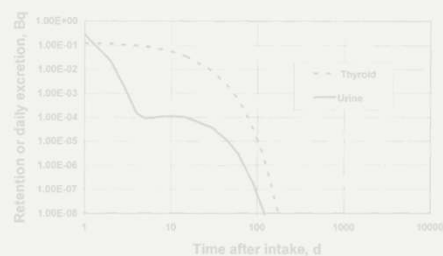


Fig. A.6.10. <sup>131</sup>I Inhalation Type F: predicted values (Bq per Bq intake) following acute intake.

Table A.6.17. Special monitoring: predicted values (Bq per Bq intake) for inhalation of <sup>131</sup>I

Time after intake (d)	Type F		Vapour	
	Thyroid	Daily urinary excretion	Thyroid	Daily urinary excretion
1	1.2E-01	2.8E-01	2.3E-01	5.3E-01
2	1.2E-01	2.3E-02	2.2E-01	4.3E-02
3	1.1E-01	1.4E-03	2.0E-01	2.5E-03
4	9.9E-02	1.5E-04	1.9E-01	2.7E-04
5	9.0E-02	8.9E-05	1.7E-01	1.7E-04
6	8.2E-02	9.6E-05	1.5E-01	1.8E-04
7	7.4E-02	1.0E-04	1.4E-01	1.9E-04
8	6.8E-02	1.1E-04	1.3E-01	2.0E-04
9	6.2E-02	1.1E-04	1.2E-01	2.1E-04
10	5.6E-02	1.1E-04	1.1E-01	2.1E-04

Table A.6.1. Compounds, absorption types and  $f_1$  values

Intake	$f_1$	Compounds
Ingestion	1.0	All compounds
Inhalation, Class SR-1	1.0	Iodine vapour
Inhalation, Type F	1.0	All other compounds

Table A.6.2. Dose coefficients

Nuclide	$T_{1/2}$	Type	Class	Inhalation		Ingestion	
				$f_1$	$e(50)\text{Sv Bq}^{-1}$	$f_1$	$e(50)\text{Sv Bq}^{-1}$
I-125	60.1 d	F	—	1.0	7.3E-09	1.0	1.5E-08
I-129	1.57E+07 y	F	SR-1*	1.0	1.4E-08	1.0	1.1E-07
		F	—	1.0	5.1E-08	1.0	1.1E-07
I-131	8.04 d	F	SR-1	1.0	9.6E-08	1.0	2.2E-08
		F	—	1.0	1.1E-08	1.0	2.2E-08
		F	SR-1	1.0	2.0E-08		

\*The model for iodine vapour is described in Publication 68 (ICRP, 1994)

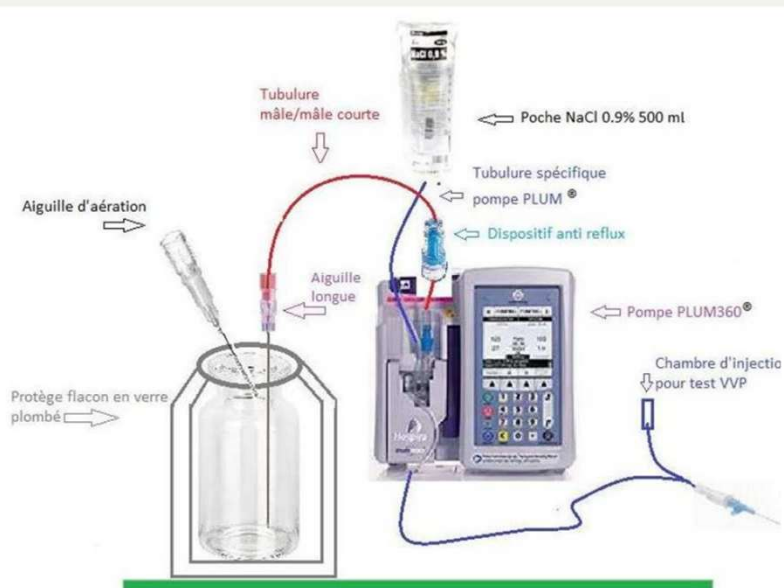
## ANNEX A. EFFECTIVE DOSE COEFFICIENTS FOR INGESTED AND INHALED PARTICULATES FOR WORKERS

Table A.1. Effective dose coefficients ( $e$ ) for ingested and inhaled particulates (activity median aerodynamic diameters of 1 and 5 µm) for workers.

Nuclide	$T_{1/2}$	Type	$f_1$	Inhalation		Ingestion	
				$e$ (Sv/Bq) (1 µm)	$e$ (Sv/Bq) (5 µm)	$f_1$	$e$ (Sv/Bq)
I-131	8.04 d	F	1.0	7.6E-09	1.1E-08	1.00	2.2E-08

# Sécurisation de l'injection en alpha

## Utilisation pompe automatique / Theranojet



- Radioprotection optimisée
- Pas de contamination : le support de protège-flacon facilite la mise en place, ainsi que la mise en décroissance du flacon.
- Simplicité d'utilisation : installation rapide des consommables
- Léger et mobile : poids réduit et maniable grâce à ses 4 roues pivotantes
- Efficacité
- Sécurité

Le support et son protège-flacon permettent le retournement du flacon assurant un prélèvement total du contenu. Ce système sécurisé est associé à un dispositif de transfert stérile et sans aiguilles. Limitant les risques de contamination et de pique. Il facilite la mise en place, ainsi que la mise en décroissance du flacon à la fin de l'injection, contrairement à l'utilisation d'aiguilles qui nécessite des manipulations risquées.

LEMER PAX

# Imagerie ?

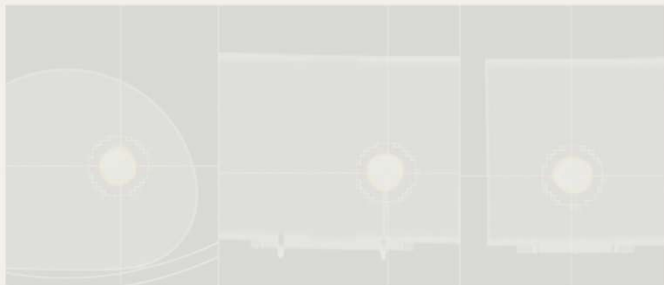
## Acquisition Imagerie quantitative

Parent radionuclide	End-daughter in chain	Half-life of parent radionuclide	Total emitted energy per parent decay (MeV)		Main photon emissions for imaging Energy (keV) (intensity *)
			Alphas	Electrons	
$^{225}\text{Ac}$	$^{209}\text{Bi}$	9.92 d	27.5	0.7	$^{221}\text{Fr}$ : 218 (11%) $^{213}\text{Bi}$ : 440 (26%)

EANM recommendations for dosimetry in targeted radionuclide therapy with alpha-emitters

## Clinical trial

System sensitivities obtained from the phantom scan: 0.9204 cps/MBq for Fr-221 and 0.9317 cps/MBq for Bi-213 (OS-EM multi-windows recon with attenuation, scatter, and full collimator-detector response compensations; 10 iterations and 10 subsets per iteration; 100 updates in total).



The subject scanner was quantitatively calibrated using the submitted point source and phantom scans obtained on June 25th, 2025. The calculated sensitivities from both scans are consistent and in the acceptable range for Ac-225.

## ACTI-QUANT Challenge

$^{225}\text{Ac}$   
ACTI-QUANT

### Actinium-225 quantification and SPECT/CT reconstruction (ACTI-QUANT) Grand Challenge

- *What are the optimal methods for acquiring and reconstructing Ac-225 data to ensure accurate quantification?*
- *How can these methods be standardized for both clinical and research applications?*



# MERCI POUR VOTRE ATTENTION



Questions ?

Nicolas Sas

Journées d'Enseignement et de Formation en Médecine Nucléaire, AFTMN  
Session Radioprotection et Réglementation



19 au 21 mars 2026 , Belfroi de Montrouge, France



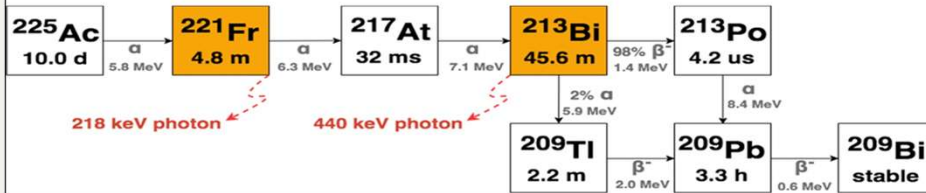
# Titre

## Sources des rayonnements identifiées

### Principales émissions

	Gamma / X		Beta (E <sub>max</sub> )		Electrons		Alpha	
	E (keV)	%	E (keV)	%	E (keV)	%	E (keV)	%
E1	218	13	980	32	122	2	5829	52
E2	440	76	1420	64	200	2	7066	100
E3	1567	2	1825	2	347	4	8377	100
% omis		27		101		66		51

\*Daniel Delacroix, Jean-Paul Guerre, Paul Leblanc - Guide de radioprotection et des radionucléides



\*Multi-isotope SPECT imaging of the 225Ac decay chain: feasibility studies

## Exposition externe et parcours dans la matière pour l'Ac225 :

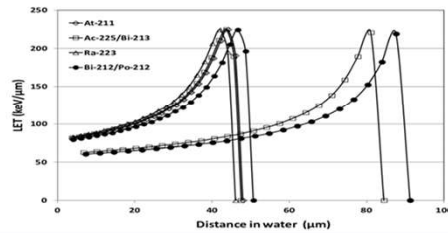
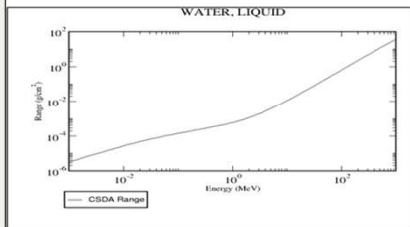
### Exposition externe ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ) pour une activité de 1 Bq



### Parcours $\beta$ et $e^-$ (mm)

Verre	2,8
Plexiglas	5,1

Parcours max dans l'eau des alphas de 8,377 MeV :  $\approx 84 \mu\text{m}$



\*Alpha Particle Emitter Radiolabeled Antibody for Metastatic Cancer What Can We Learn from Heavy Ion Beam Radiobiology

\*<https://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ASTAR.html>

## Estimation du nombre de cures par an + activité totale par an

Nombre de patient par an	10	Nombre de cures par patient	6	Nombre de cures par an	60
Posologie (kBq/kg)	0,2	Activité par patient (MBq)	14	Activité totale par an (MBq)	840
Nb de MERM dédié RIV	4	Activité par MERM (MBq)	210		

# Titre

Les activités des éléments fils ne sont pas comptabilisé étant donné leur court durée de vie par rapport au l'Ac225  
Un équilibre séculaire est observé : Les activités des isotopes fils sont alors équivalentes et décroissent selon la constante radioactive de l'Ac225.

