AFTMN
Association Française
des Techniciens en Médecine Nucléaire

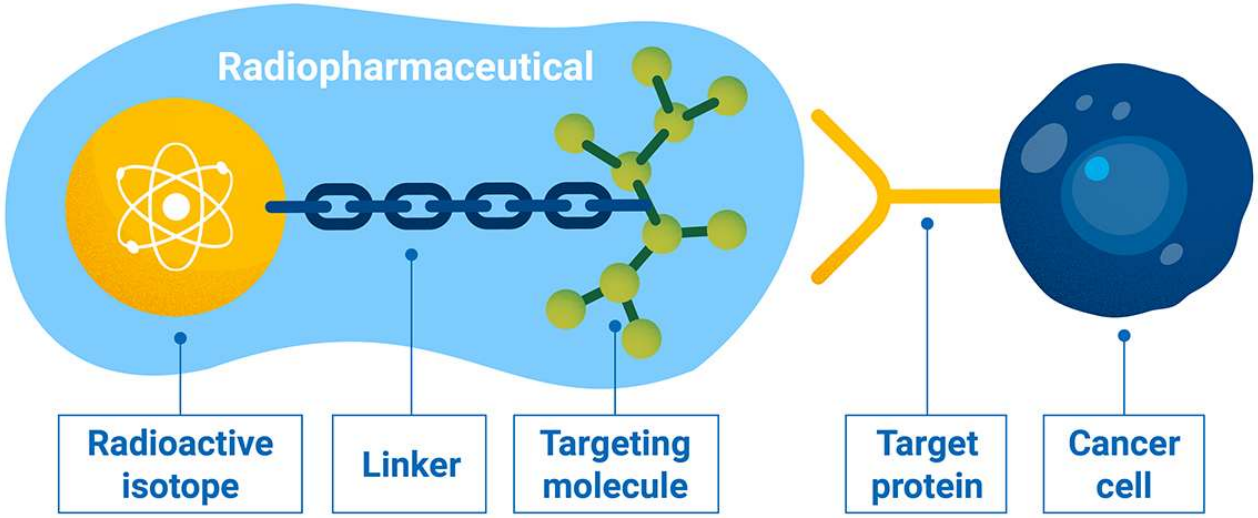
CHU BDX CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE BORDEAUX

université de BORDEAUX

Les nouveaux radiopharmaceutiques

Clément Morgat

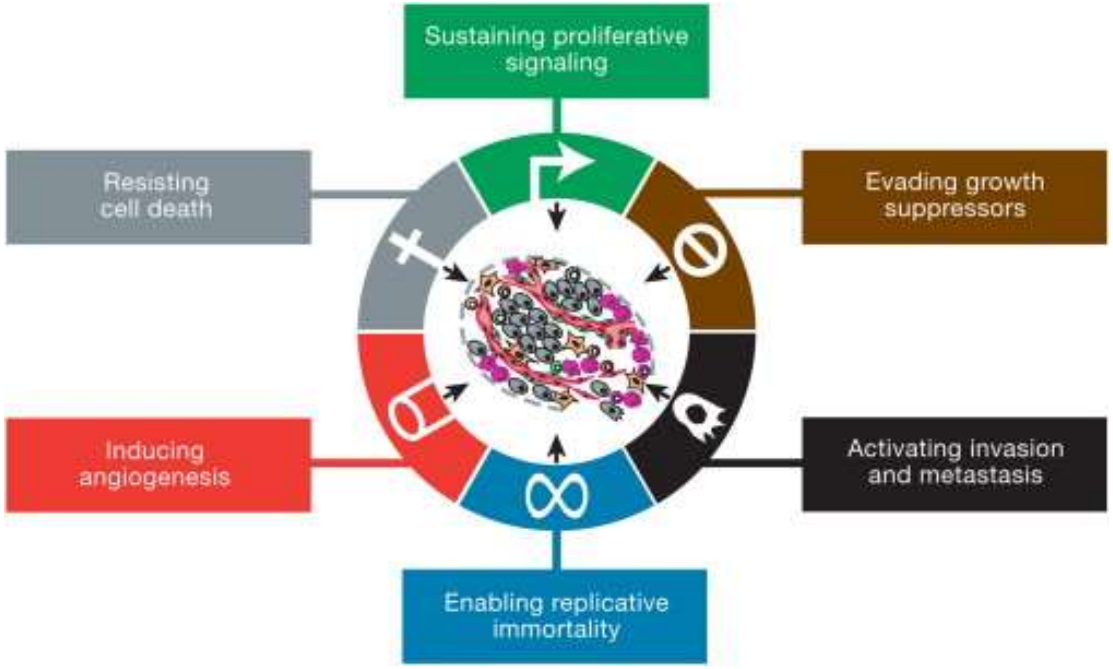
Qu’est ce qu’un radiopharmaceutique?



Source: AIEA

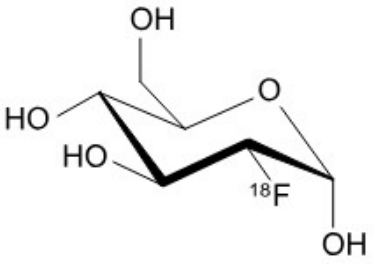
Caractéristiques des cellules tumorales

- Connaissances en 2000

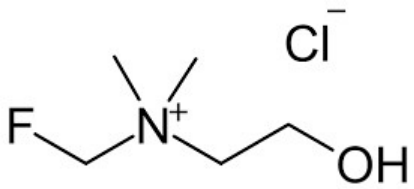


Hanahan et al, Cell, 2000

Arsenal des radiopharmaceutiques en 2010

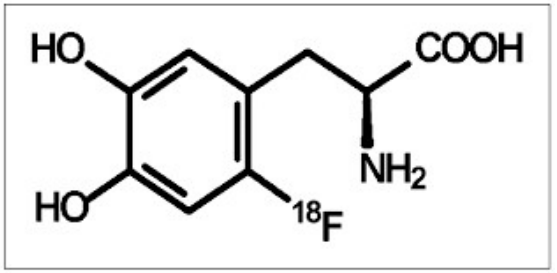


[^{18}F]-FDG



[^{18}F]-FCholine

NaF

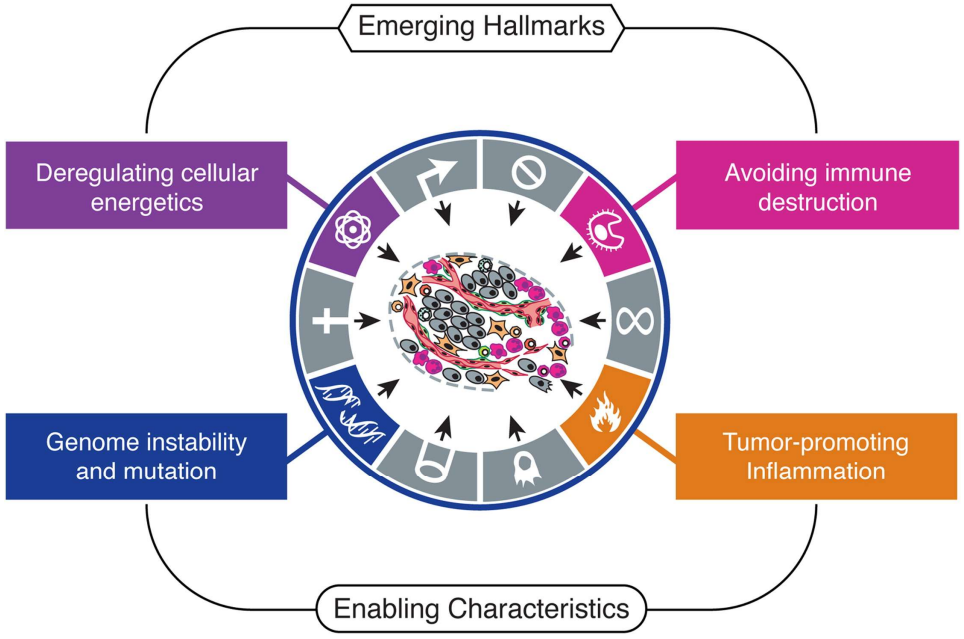


[^{18}F]-FDOPA

La radiopharmacie en 2000

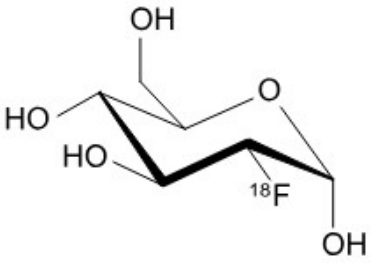
Caractéristiques des cellules tumorales

- Connaissance en 2011

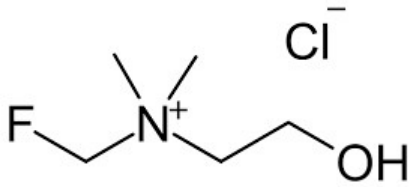


Hanahan et al, Cell, 2011

Arsenal des radiopharmaceutiques en 2011

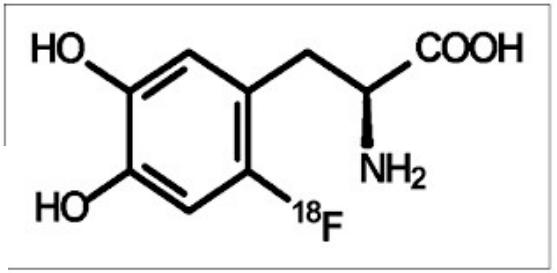


[18F]-FDG

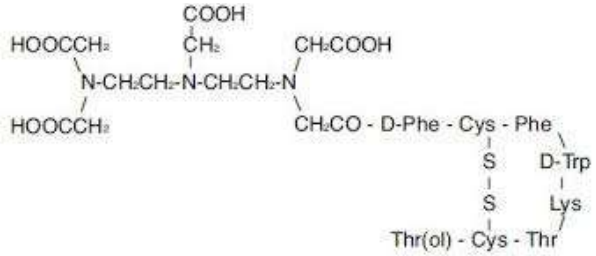


[18F]-FCholine

NaF

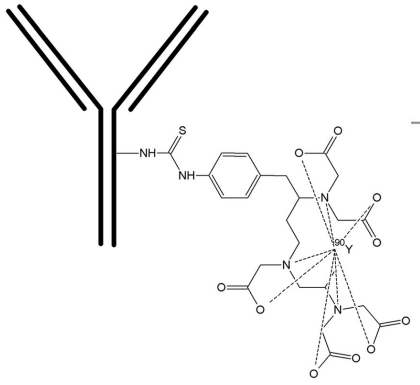


[18F]-FDOPA



[111In]In-pentetreotide

[90Y]Y-ibritumomab tiuxetan



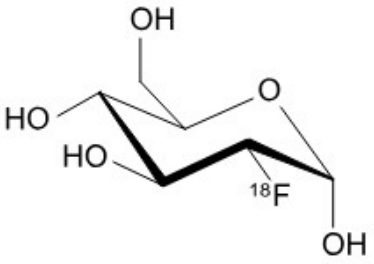
La radiopharmacie en 2011

Caractéristiques des cellules tumorales

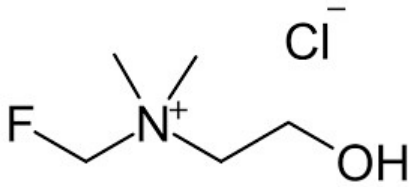
- Connaissance en 2020

Hanahan et al, Cancer Discov, 2022

Arsenal des radiopharmaceutiques en 2025

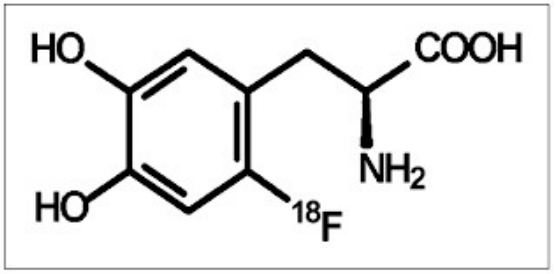


[18F]-FDG



[18F]-FCholine

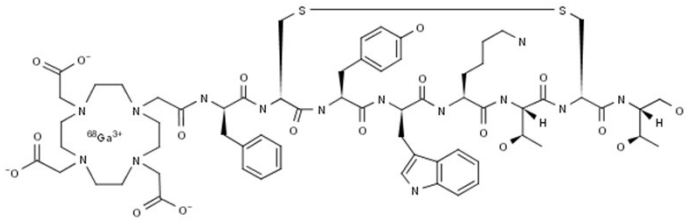
NaF



[18F]-FDOPA

[18F]-FET

[68Ga]Ga-exendine



[68Ga]Ga-edotreotide

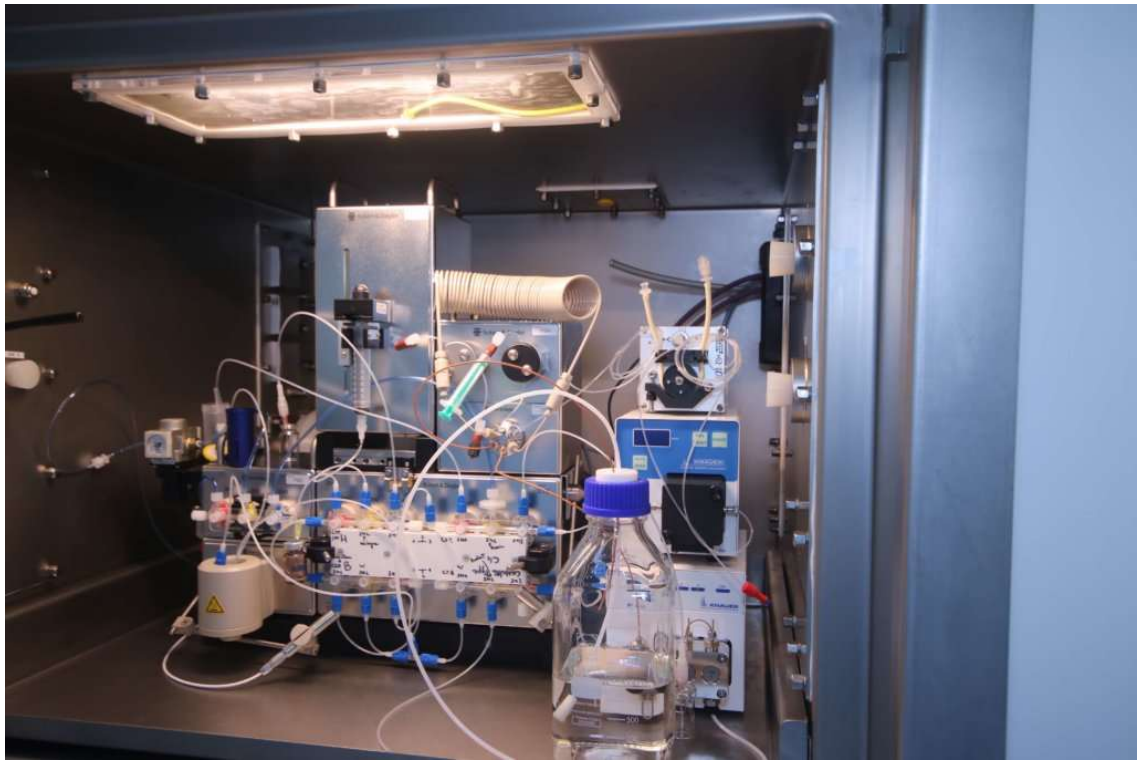
[89Zr]Zr-girentuximab

[177Lu]Lu-DOTATATE

[68Ga]Ga-PSMA-11 / [18F]-DCFPyL

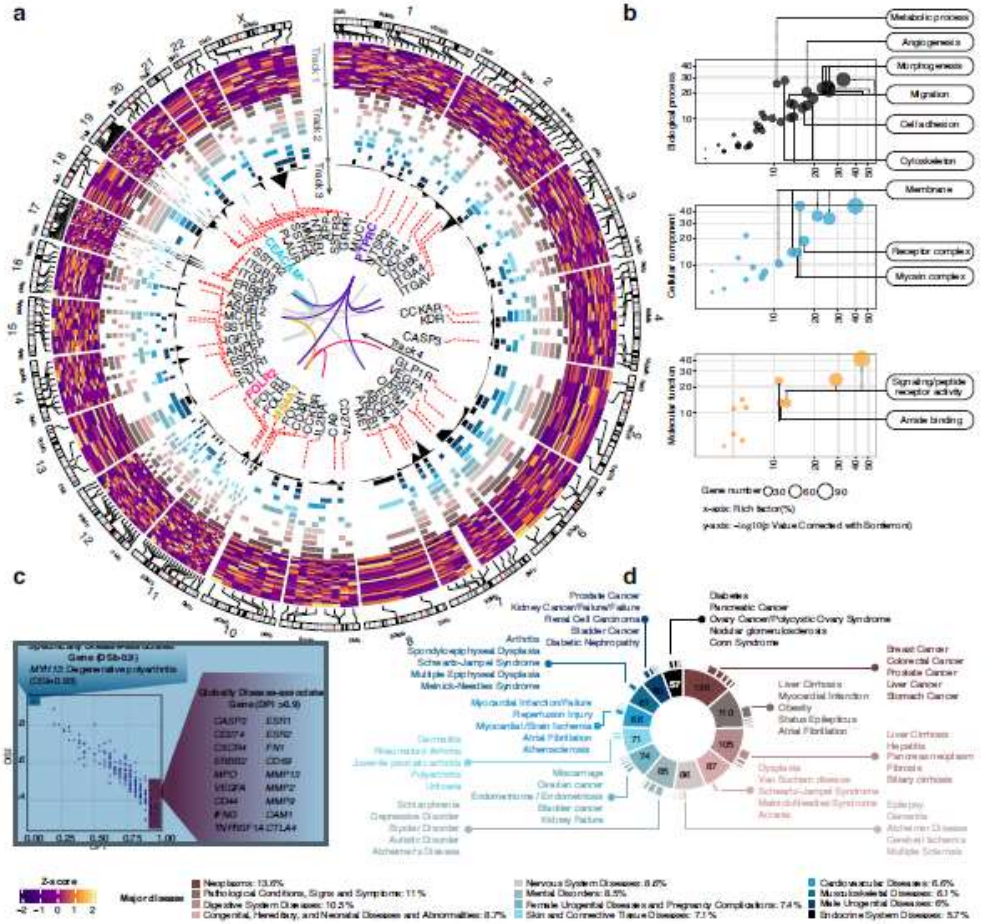
[177Lu]Lu-PSMA-617

La radiopharmacie en 2025



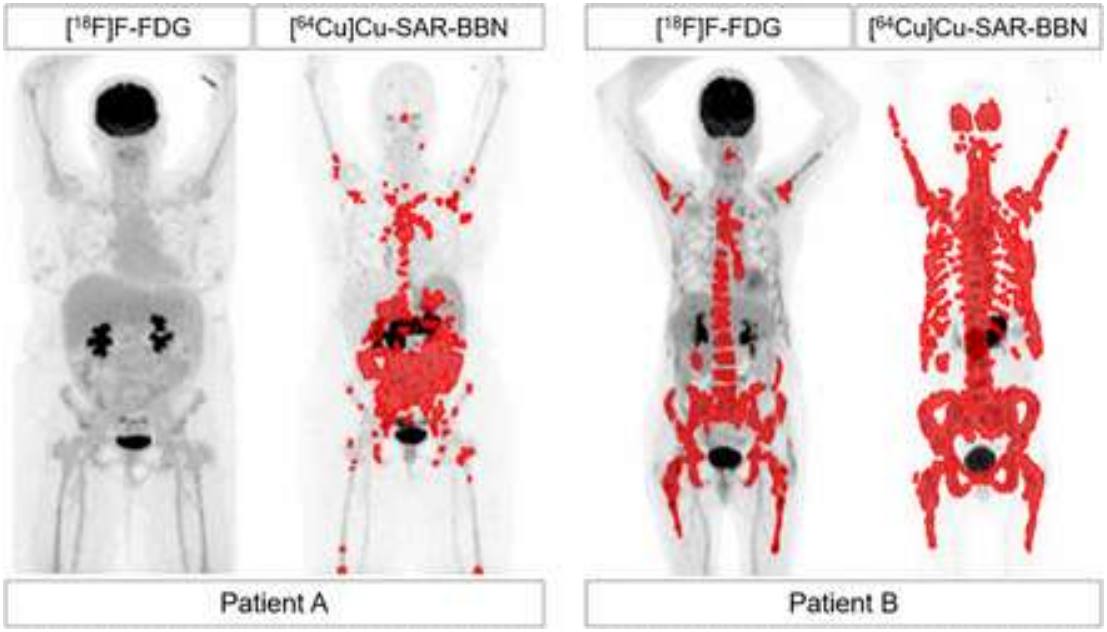
Et après?

Le « Theranostic genome »



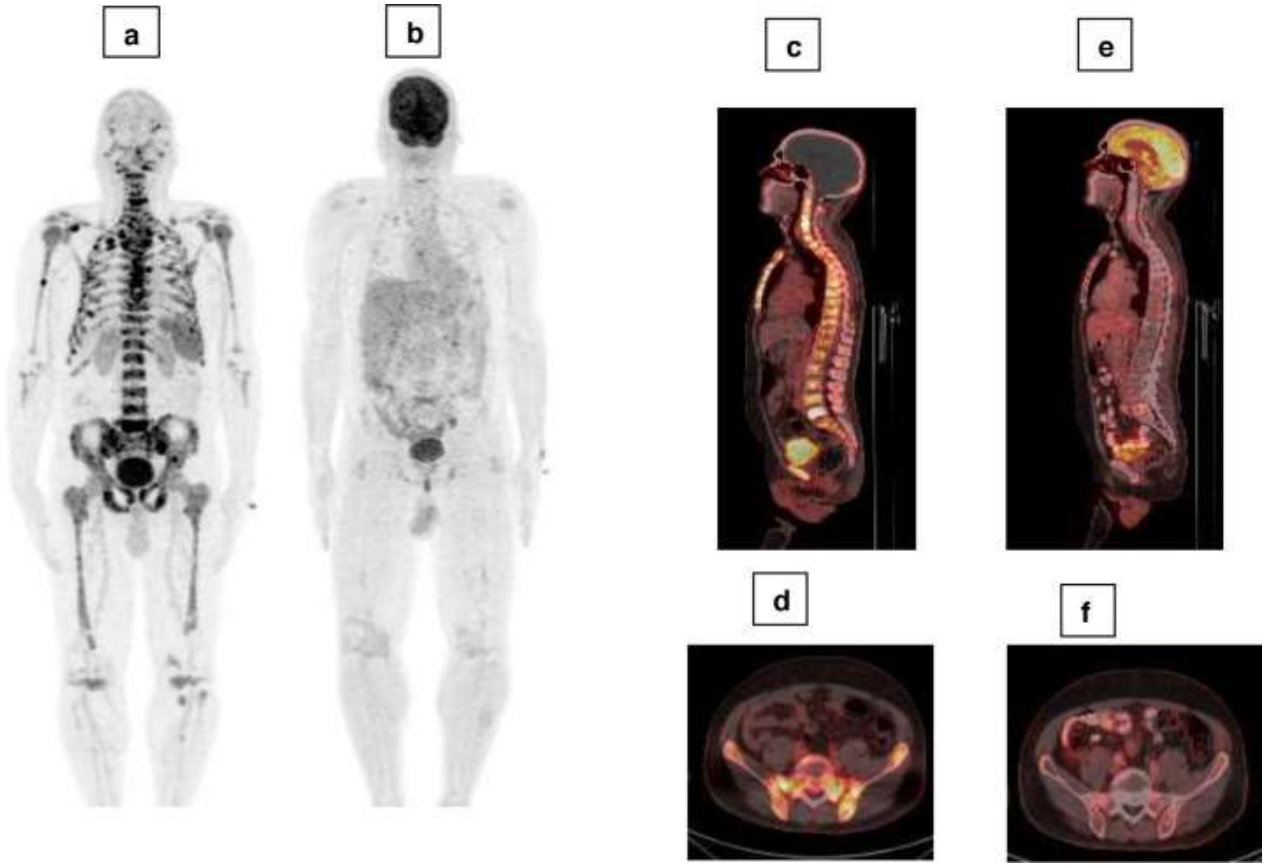
Xu et al, Nat Comm, 2024

Cancer du sein / GRPR



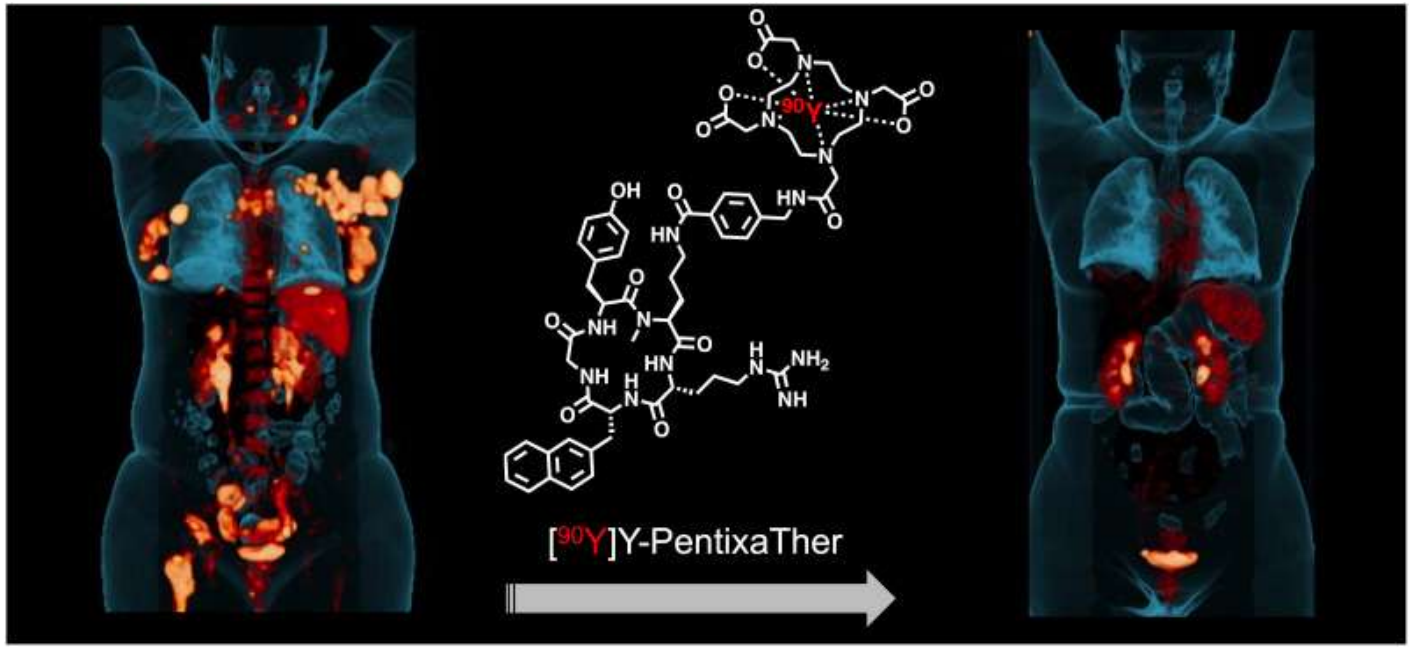
Wong et al, Pharmaceuticals 2022

Hémopathies malignes/ CXCR4 - TEP



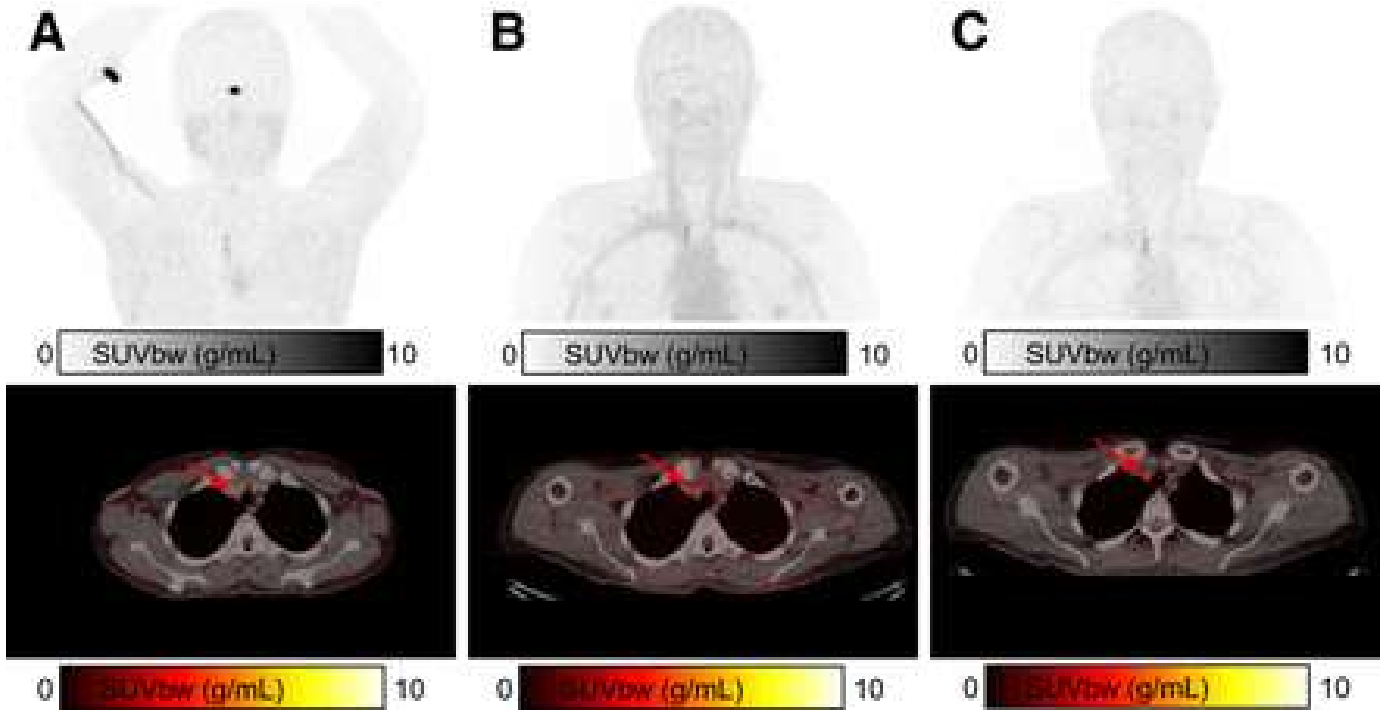
Shekhawat et al, Br J Radiol 2022

Hémopathies malignes/ CXCR4 - RIV



Buck et al, J Nucl Med 2023

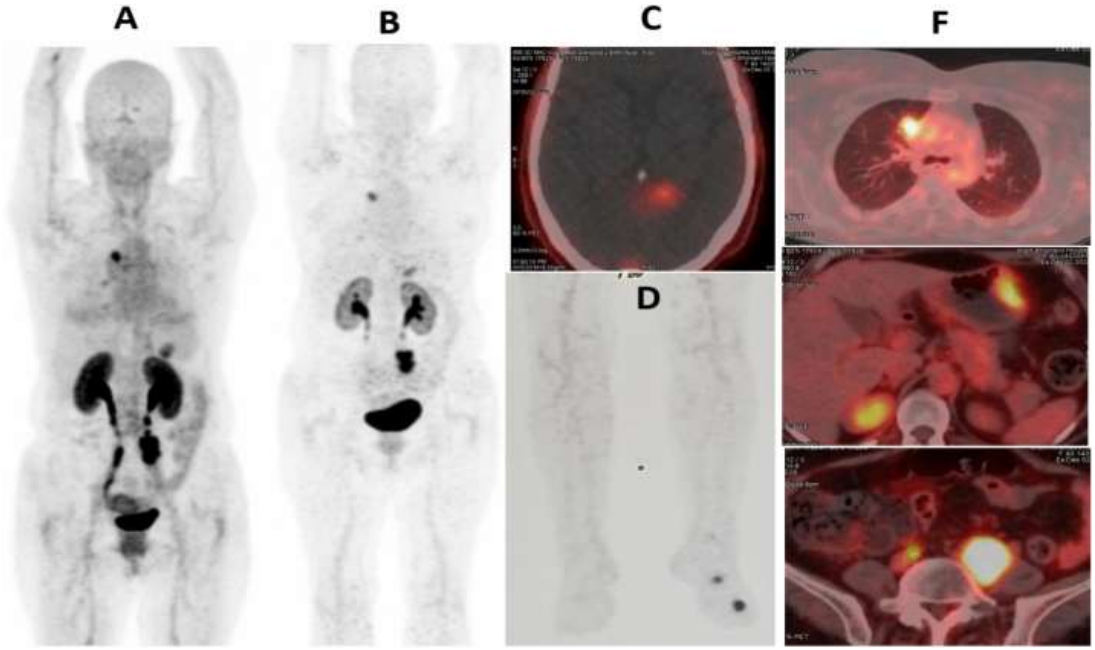
Cancer médullaire de la thyroide / CCK2R



[^{68}Ga]Ga-DOTATOC [^{68}Ga]Ga-MGS5, 1h [^{68}Ga]Ga-MGS5, 2h

Von Guggenbern et al, J Nucl Med 2025

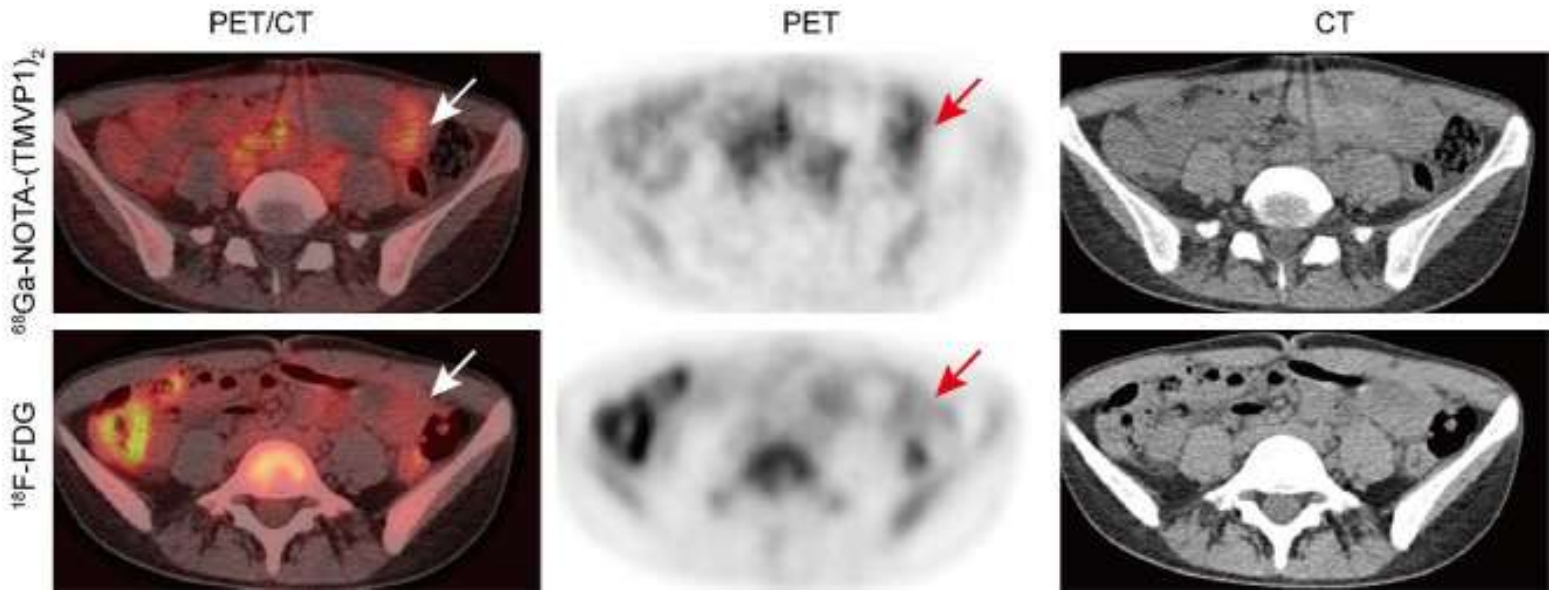
Mélanome / MC1R



[^{68}Ga]Ga-αMSH 1h et 2h

Zolghadri et al, Sci Rep 2025

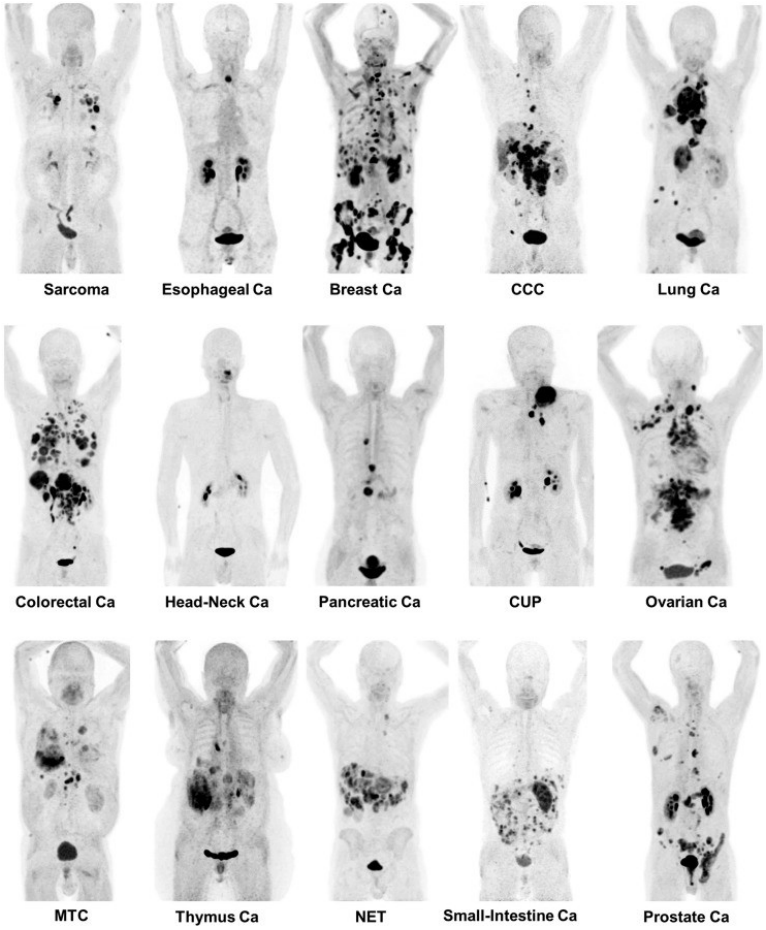
Cancer de l’ovaire / VEGFR3



[^{68}Ga]Ga-NOTA-(TMVP1)$_2$

Zolghadri et al, Sci Rep 2025

Multi-cancer / FAP



Kratochwil et al, J Nucl Med 2019

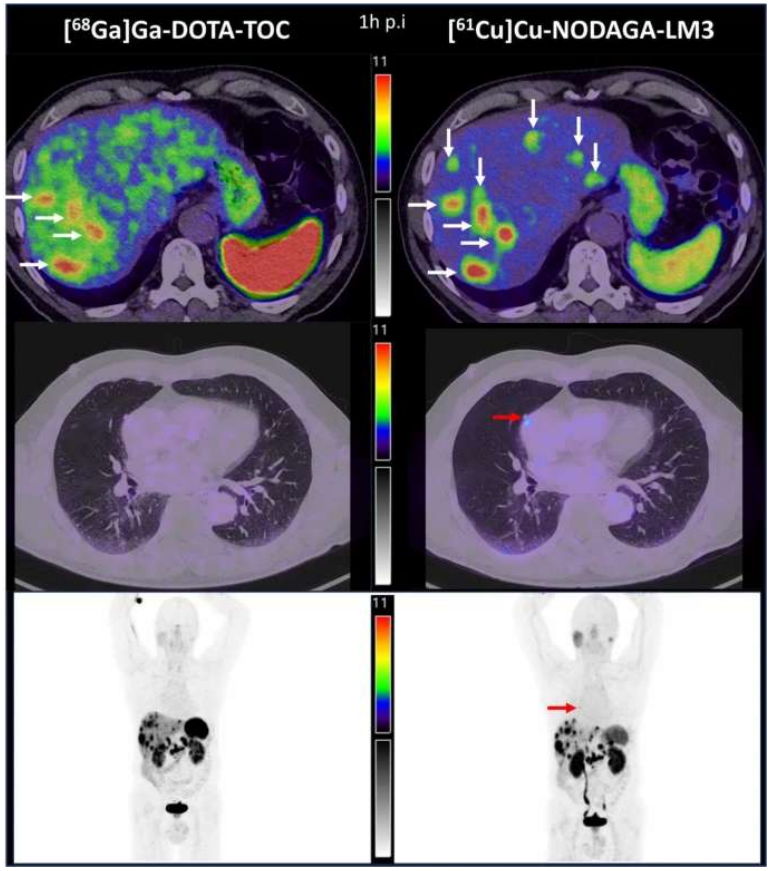
Et des nouveaux radioélements - TEP

Table 1 Physical properties of the selected positron-emitting radionuclides

	^{68}Ga	^{43}Sc[¥]	^{43}Sc + ^{44}Sc (2:1 mixture)[£]	^{45}Ti	^{61}Cu	^{64}Cu
$T_{1/2}$ (h)	1.13	3.89	3.9	3.08	3.34	12.70
β^+ branching ratio (% emission)	88.9	88.0	90	84.8	61	17.5
$E_{\beta+\ mean}$ (keV)	830	476	580	439	500	278
$E_{\beta+\ max}$ (keV)	1899	1199	1474	1028	1216	653
Mean positron range (R_{mean}, mm)[Þ]	3.6	1.7	2.0	1.5	1.7	0.56
Dominant γ rays E (keV) [I_γ (%)]	1077 [3.22]	373 [22.5]	373 [15] 1157 [33]	-	283 [12.7] 656 [9.7]	-
511 keV ± 10% (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0
511 keV ± 20% (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0
1022 keV ± 10% (%)	3.2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
1022 keV ± 20% (%)	3.2	0.0	33	0.0	5.6	0.0
> 613 keV (Compton background, %)	3.6	0.0	34	0.3	16.7	0.5
> 1500 keV (pair creation background, %)	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0
H10 (at 1 m, μSv/h/GBq)	158	165	220	146	136	31
Dose rate after 5 cm Pb (at 1 m, μSv/h/GBq)	0.36	0.05	3.3	0.07	0.65	0.09

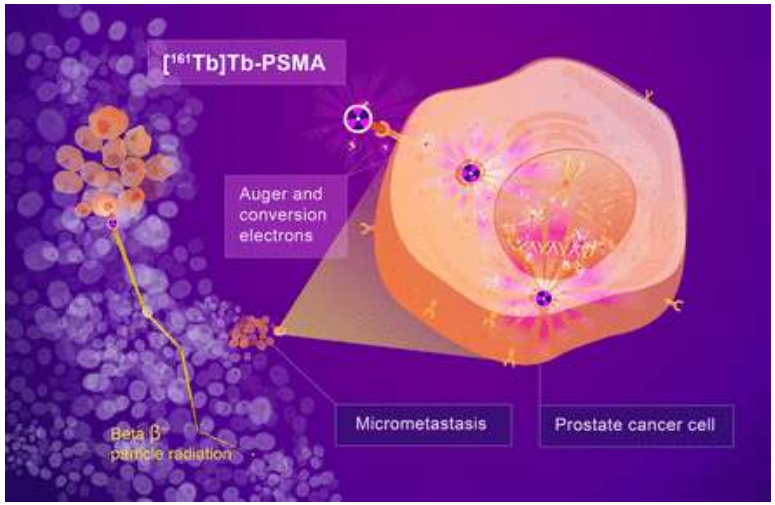
All nuclides decay by β^+ and electron capture. ^{64}Cu emits additional β^- radiation (39.0%). [¥]Pure ^{43}Sc when produced using α-beams. [£]^{43}Sc + ^{44}Sc (2:1 mixture is obtained when ^{43}Sc is produced using proton beams. [Þ]Calculated with a Monte Carlo code for ^{68}Ga, ^{43}Sc, ^{45}Ti and ^{64}Cu and estimated using the equation of Cole and colleagues for other radionuclides [9]

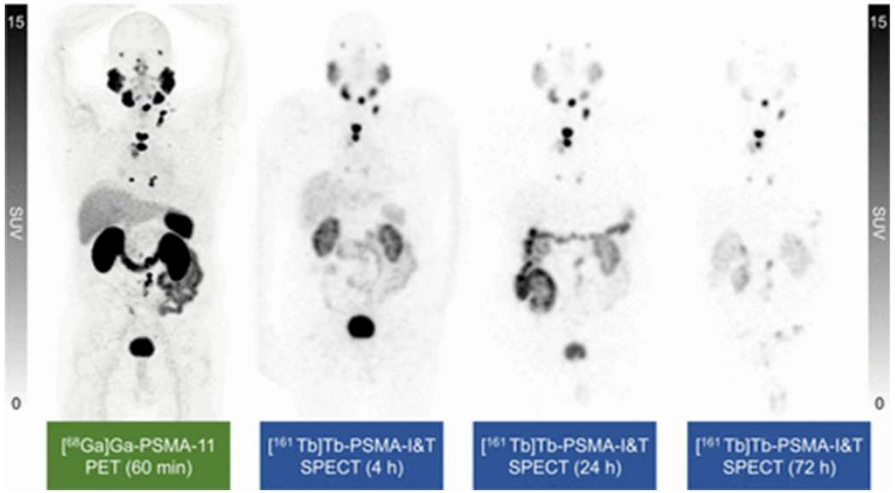
Hindié et al, EJNMMI Phys 2024

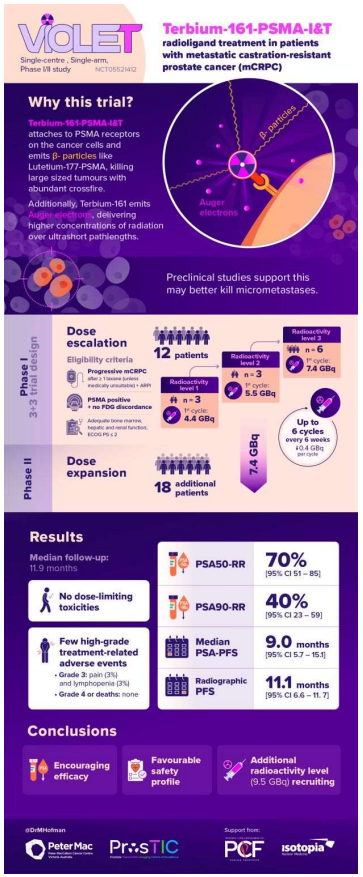


Nicolas et al, EJNMMI 2025

Et des nouveaux radioélements - RIV



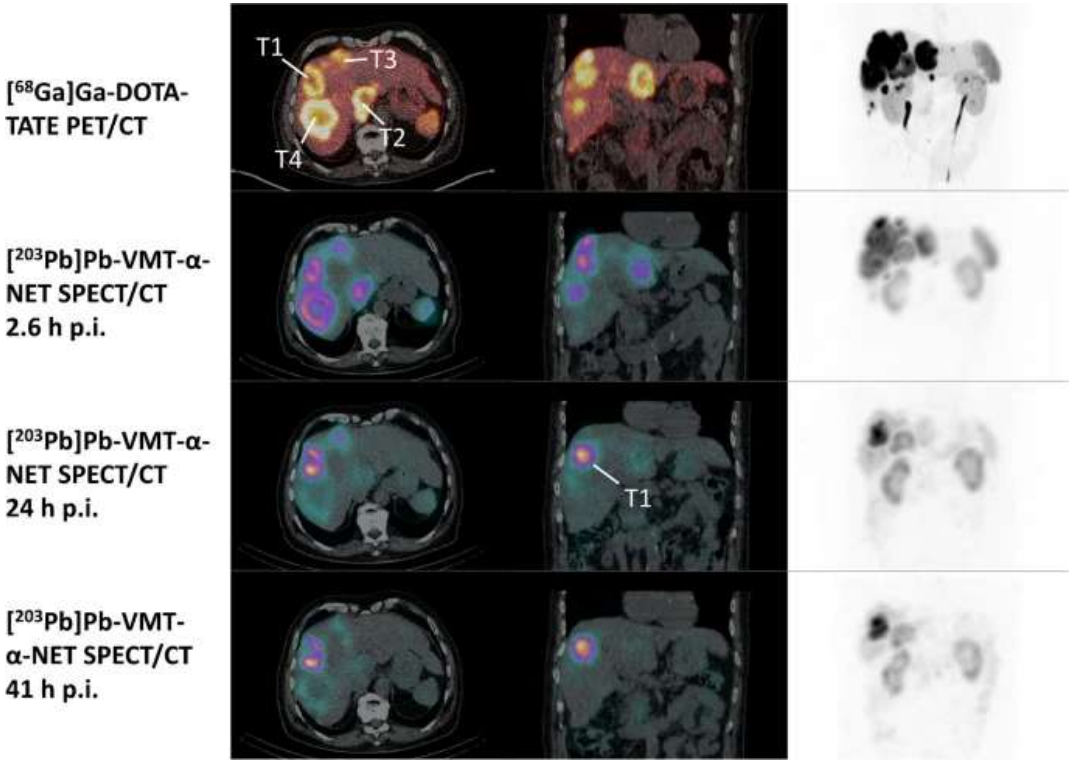




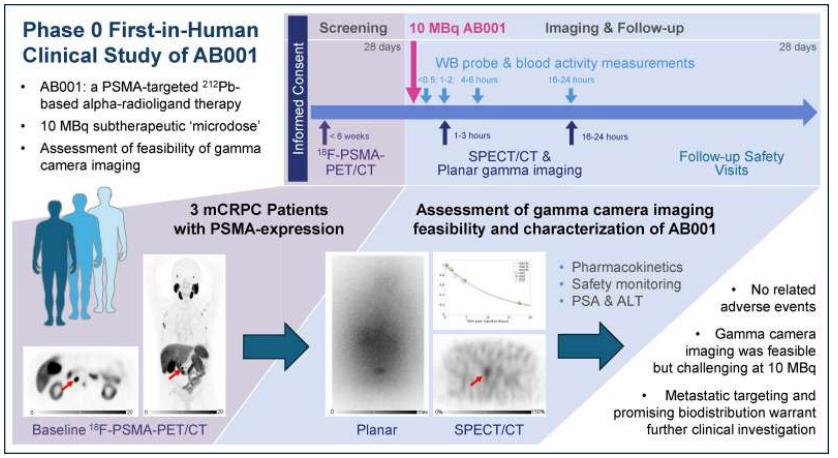
Buteau et al, J Nucl Med 2024

Hofman et al, ASCO 2025

Et des nouveaux radioélements - RIV



Michler et al, EJNMMI 2025



Berner et al, J Nucl Med 2025

Et en 2050?

Journal de bord du Dr Léa Morel, radiopharmacienne – 3 avril 2050

07h12 – Centre Hospitalier Universel de Bordeaux – Unité Radiopharmaceutique Intelligente (URI)

En arrivant ce matin, la première chose que j'ai faite, comme chaque jour, a été de saluer **RAY-X**, notre assistant robotique principal. Il m'a immédiatement transmis les rapports de nuit : cinq doses de Lutétium-177 pour des patients atteints de TNE, deux Actinium-225 pour des traitements alpha ciblés, et une synthèse personnalisée de Cuivre-64 pour un cas rare de cancer pédiatrique.

Tout a été préparé **automatiquement**, grâce à notre micro-usine de production modulaire. C'est fou de penser qu'il y a à peine 25 ans, ces radioisotopes devaient venir de l'autre bout de l'Europe...

08h40 – Station de design moléculaire

Je lance le design d'un nouveau vecteur théranostique. L'**IA biomédicale intégrée**, avec l'aide des données omiques du patient (génome, transcriptome, protéome...), suggère un marquage sur un anticorps bispécifique.

En quelques secondes, le système simule son comportement dans l'organisme et évalue son efficacité potentielle.

Après validation, le micro-réacteur se met en marche. La molécule est **synthétisée en 12 minutes**,

puis automatiquement purifiée, contrôlée et mise en seringue. Tout est stérile, sécurisé, tracé.

11h15 – Réunion interdisciplinaire en réalité mixte
Je rejoins l'oncologue, le médecin nucléaire et l'IA clinicienne via notre salle holographique. Ensemble, nous discutons des réponses thérapeutiques d'un patient à son traitement radiopharmaceutique. Grâce à l'analyse continue des données, nous adaptons sa dose de traitement en temps réel. La **médecine est devenue dynamique**, réactive, personnalisée.

14h00 – Module de recherche translationnelle
J'encadre deux étudiants qui travaillent sur un vecteur utilisant une nanoparticule auto-assemblante, capable de franchir la barrière hémato-encéphalique. Ils s'interrogent : doit-on utiliser un émetteur alpha, bêta, ou un combo ? La radiopharmacie est devenue **biologie, physique, data science, clinique et éthique à la fois**.

17h45 – Fin de journée
Avant de partir, je consulte le **réseau mondial de radiopharmacie**. Un centre au Kenya partage des résultats prometteurs avec un nouveau générateur de Gallium-68 compact. L'information circule librement, les connaissances se croisent, les patients bénéficient partout de **thérapies innovantes, sûres et accessibles**.

Merci de votre attention