

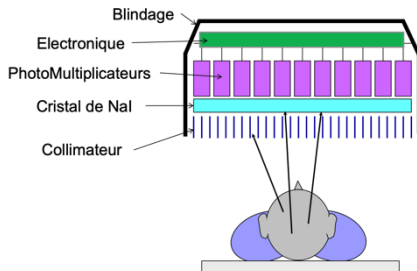
LES BASES PHYSIQUES DE LA SCINTIGRAPHIE (PLANAIRE ET TOMOGRAPHIQUE) ET DE LA TOMOGRAPHIE PAR ÉMISSION DE POSITONS (TEP)

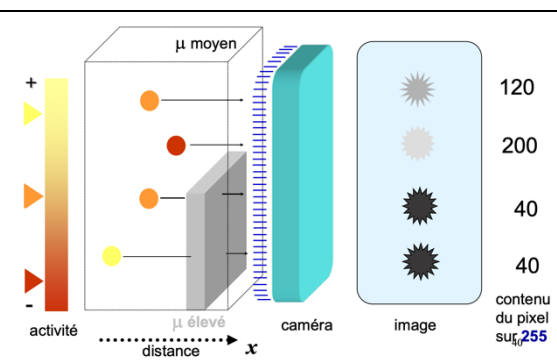
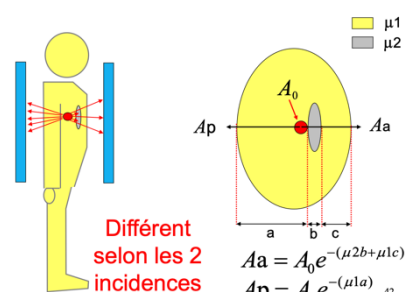
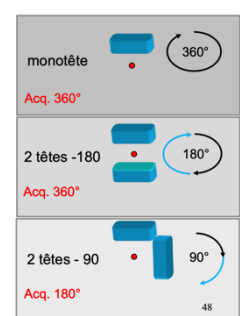
2014	2015	2016	2017	2018
4 QCM	4 QCM	3 QCM	1 QCM	2 QCM

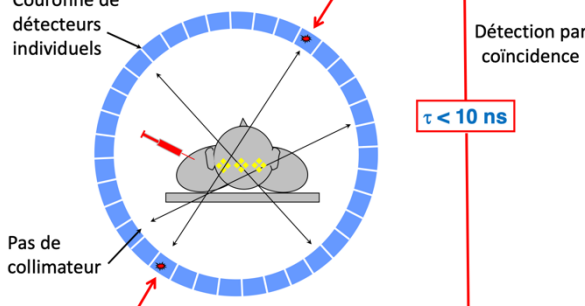
ITEMS REDONDANTS
- En TEP, le rayonnement à détecter est constitué de photons +++ - En TEP, les collimateurs ne sont pas nécessaires pour arrêter les rayonnements dont la trajectoire n'est pas perpendiculaire au détecteur (c'est l'inverse pour la TEMP on en a besoin) +++ - On ne peut pas explorer la totalité du corps du patient en coupes en une seule acquisition +++ - Les radiopharmaceutiques utilisés en TEMP comportent un radioélément émetteur de photon gamma ++ - De manière générale : bien connaître la différence entre la TEP et la TEMP + Gamma caméra +++

MÉDECINE NUCLÉAIRE	
Généralités	- Rayonnements ionisants (comme la radiologie) - Détection du rayonnement émis par le patient (on détecte le rayonnement émis à partir d'une source radioactive située à l'intérieur du patient) - Scintigraphie « conventionnelle » : mode planaire et mode tomographique (tomoscintigraphique ou TEMP) - TEP ou PET
Pourquoi médecine « nucléaire »	- Désexcitation d'un noyau atomique - Radionucléide administré avec une activité faible - La mesure de l'activité est facile et sensible - L'unité d'activité est le Becquerel (Bq) = 1 dps - Activité administrée : 1 à 10 MBq/Kg
Rayonnement	- Doit être capable de traverser le corps pour atteindre le détecteur - Doit avoir un trajet rectiligne - Seuls les rayonnements Gamma issus de la désexcitation des noyaux (en scintigraphie) ou les photons d'annihilation secondaires à la B+ (en TEP) remplissent ces conditions - Les autres émissions (électrons) sont inutiles pour la production de l'image et irradient inutilement le patient
Rayons Gamma et X	- Un seul type de photons - Entièrement caractérisés par leur E - Unité : électron-volt <u>NE SE DISTINGUENT QUE PAR LEUR ORIGINE :</u> - Rayons X, couronne électronique - Rayons Gamma, noyau atomique
Désintégration B-	Excès de neutrons : $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} + \Delta E$ <i>Moyen mnémotechnique : B- comme le fait qu'il émet un électron (e-)</i>
Désintégration B+	Excès de protons : $p \rightarrow n + e^+ + \nu + \Delta E$ <i>Moyen mnémotechnique : B+ comme le fait qu'on émet un positon (e+)</i>
Émission Gamma	- Énergie des photons émis doit être adaptée au détecteur (entre 80 et 300 KeV avec optimum à 150 KeV) - Idéal = émission gamma pure, correspondant à un excès d'énergie interne du Nx du radionucléide

	- Si la forme excitée à une « longue » période, à l'échelle des phénomènes atomiques càd de la seconde à plus° heures, le radionucléide est dit métastable.																								
Équation scintigraphique	un traceur marqué par un émetteur γ : le radiopharmaceutique + un détecteur spécifique : la gamma-caméra = image fonctionnelle (métabolique) + information quantitative Complémentaire de l'imagerie anatomique pure																								
Propriétés des traceurs	- Le but : suivre le devenir d'une molécule dans l'organisme - Un moyen : les radionucléides - Caractéristiques : faible Q pondérale = traceur ; perturbation faible/ nulle = examen « physiologique » - Particularités : sélectivité par l'organe et/ ou par la fonction étudiés, accumulation proportionnelle au phénomène étudié, faible dosimétrie, absence d'effets secondaires, émission gamma adaptée aux instruments de mesure																								
COMPARAISON RX/ MN (+++)	<table><tr><td></td><td>Radiographie</td><td>Scintigraphie</td></tr><tr><td>Débit de photons</td><td>élevé ($> 10^{12}$ /s)</td><td>faible ($< 10^5$ /s)</td></tr><tr><td>Durée d'examen</td><td>$\cong 1$ s</td><td>10 à 20 min</td></tr><tr><td>Durée d'exposition</td><td>$\cong 1$ s</td><td>10 à 72 h</td></tr><tr><td>Irradiation</td><td colspan="2">comparable</td></tr><tr><td>Dose / cliché</td><td>proportionnelle</td><td>indépendante</td></tr><tr><td>Renseignements</td><td>anatomiques</td><td>fonctionnels</td></tr><tr><td>Infos quantitatives</td><td>non</td><td>oui</td></tr></table>		Radiographie	Scintigraphie	Débit de photons	élevé ($> 10^{12}$ /s)	faible ($< 10^5$ /s)	Durée d'examen	$\cong 1$ s	10 à 20 min	Durée d'exposition	$\cong 1$ s	10 à 72 h	Irradiation	comparable		Dose / cliché	proportionnelle	indépendante	Renseignements	anatomiques	fonctionnels	Infos quantitatives	non	oui
	Radiographie	Scintigraphie																							
Débit de photons	élevé ($> 10^{12}$ /s)	faible ($< 10^5$ /s)																							
Durée d'examen	$\cong 1$ s	10 à 20 min																							
Durée d'exposition	$\cong 1$ s	10 à 72 h																							
Irradiation	comparable																								
Dose / cliché	proportionnelle	indépendante																							
Renseignements	anatomiques	fonctionnels																							
Infos quantitatives	non	oui																							
SCINTIGRAPHIE																									
Types de radiopharmaceutiques	- Le radionucléide seul (ex-Iode-123) - Des molécules marquées - Des cellules marquées (GR, Gb et plaquettes) - Des aliments (liquides, solides) - Des aérosols, des gaz, - Des anticorps																								
Radionucléide le plus utilisé (+++)	- Technétium 99mTc (j'ai bien dit 99m, ATTENTION au fucking petit m) - Element « artificiel », métastable (m) - Facilement disponible (son daron c'est le 99Mo) - Énergie des Gamma : 140 KeV, bien adapté - Période radioactive courte : 6h (+++) - Pouvant marquer de nombreuses molécules - Permet de réaliser différents types d'exams <i>NB : Il n'est pas émetteur Beta</i>																								

	>>> Molécule + 99mTc = radiopharmaceutique (considéré comme un médicament)																				
Le générateur de 99mTc	- Malgré sa période de seulement 6h, le 99mTc est disponible en permanence dans le service de médecine nucléaire - Compte tenu de la période de 66h du molybdène, un générateur peut être utilisé peut-être utiliser pendant 3 journées de travail - Le générateur est changé 2 fois par semaine																				
Autres radionucléides (au moins connaître les noms)	<table><tr><th>Radionucléides</th><th>Energie</th><th>Période</th><th>Utilisation</th></tr><tr><td>Thallium ²⁰¹Tl</td><td>70 keV</td><td>73 h</td><td>Myocarde</td></tr><tr><td>Iode ¹²³I</td><td>159 keV</td><td>13 h</td><td>Thyroïde</td></tr><tr><td>Indium ¹¹¹In</td><td>171 keV 245 keV</td><td>67 h</td><td>Récepteurs</td></tr><tr><td>Krypton ^{81m}Kr (générateur)</td><td>190 keV</td><td>13 s</td><td>Ventilation pulmonaire</td></tr></table>	Radionucléides	Energie	Période	Utilisation	Thallium ²⁰¹ Tl	70 keV	73 h	Myocarde	Iode ¹²³ I	159 keV	13 h	Thyroïde	Indium ¹¹¹ In	171 keV 245 keV	67 h	Récepteurs	Krypton ^{81m} Kr (générateur)	190 keV	13 s	Ventilation pulmonaire
Radionucléides	Energie	Période	Utilisation																		
Thallium ²⁰¹ Tl	70 keV	73 h	Myocarde																		
Iode ¹²³ I	159 keV	13 h	Thyroïde																		
Indium ¹¹¹ In	171 keV 245 keV	67 h	Récepteurs																		
Krypton ^{81m} Kr (générateur)	190 keV	13 s	Ventilation pulmonaire																		
Examen simple	- IV (90% des cas) - Attente variable (de quelques minutes à plusieurs heures) - Enregistrement des images (images planaires et/ou tomoscintigraphique) - Parfois plus° temps (4h, J+1, J+2...) - Traitement de l'image																				
Principe de la gamma-caméra	- Un photon gamma produit une scintillation dans le cristal d'iodure de sodium (+++) - Une série de photomultiplicateurs (PM) amplifie la scintillation, la localise dans le plan du cristal en donne une mesure de l'énergie La caméra à scintillation  (Pour faire simple, le collimateur permet de choisir les photons qui arrivent perpendiculairement au cristal. Mais il est parfois possible qu'un photon soit diffusé et arrive dans le récepteur. On pourrait penser à une mauvaise localisation sur l'image. Et bah non en fait, vu qu'on dispose d'une spectrophotométrie qui mesure l'E du photon, si cette E est trop faible, le photon est éliminé) - L'énergie du photon diffusé dépend de l'angle de diffusion (si on a un photon de 140 KeV quand il est dévié de 10° on le considère comme un bon photon)																				
Les paramètres de l'image MN	- La concentration locale : activité administrée, captation/élimination par l'organe, instant de la prise d'image/ administration																				

	- L'atténuation (même formule que pour les RX) : situation de la « source » dans le corps, nature des tissus environnants
Concentration & atténuation	 Si on considère une activité plus ou moins élevée du radiopharmaceutique (de plus en plus élevée vers le Jaune) : Si on a le point, il nous donne un signal à 120 et un autre point moins actif mais plus près donne un signal plus important car plus près. Si on a une surface qui absorbe les photons = des objets de μ élevé ils apparaissent comme très peu actifs. S'il est très actif mais loin du détecteur + objet de μ élevé à traverser apparaît comme très peu actif.
Trajet des rayons en scintigraphie	- Les gamma caméras ont AU MOINS 2 têtes réceptrices pour aller plus vite et ACQUÉRIR LES EXAMENS EN MÊME TEMPS - En fonction de la localisation du récepteur, le trajet des rayons en scintigraphie sera différent. (En ant et post ce ne sera pas pareil. Si on a l'objet radio et qu'on met la tête de la caméra en incidence ant, les photons doivent traverser l'objet $\mu 2$ alors que si l'autre tête est en post on a que du $\mu 1$ à traverser.) Trajet des rayons en scintigraphie  Différent selon les 2 incidences $Aa = A_0 e^{-(\mu_2 b + \mu_1 c)}$ $Ap = A_0 e^{-(\mu_1 a)}$
LA TOMOSCINTIGRAPHIE (OU TEMP)	
Généralités	- La caméra tourne autour du patient - Soit acquisition en tour complet (360°) - Soit un demi-tour (180°) → comme en cardio - On a des caméras 2 ou 3 têtes et on va donc 2 ou 3 fois plus vite 
Acquisition d'une coupe	- On fait des projections suivant le nbre de têtes - Chaque position de la gamma caméra permet d'enregistrer une position ou les objets sont projetés suivant un angle - On fait pleins de projections - Puis on rétroprojette les infos. On filtre ensuite et retrouve les objets
Le facteur « d'atténuation »	- L'image en médecine nucléaire dépend de 2 facteurs : concentration et atténuation - L'atténuation perturbe plus la tomoscintigraphie que la scintigraphie planaire - L'atténuation est LE facteur limitant : par ex le nombre de photons est divisé par 2 tous les 5 cm, la mesure de la concentration est faussée, la qualité de la reconstruction est altérée

Conséquences de l'atténuation	- Le taux de comptage mesuré dans l'image diffère de celui de l'activité présente dans l'objet - La solution ? Faire une scintigraphie couplée à un scanner																				
Intérêt de la TEMP/TDM	- Améliore la détection grâce à la correction d'atténuation permise par la TDM (la machine TEP/TDM ne veut pas dire qu'on obtient simultanément une image TEP et une autre TDM hein !! C'est juste pour corriger la TEP la TDM) - Permet la localisation anatomique des foyers																				
LA TEP																					
Émetteurs de positons	<table><tr><td></td><td>Energie du positon (MeV)</td><td>Parcours moyen du β+ dans l'eau (mm)</td><td>T (mn)</td></tr><tr><td>¹¹C</td><td>0.98</td><td>1.1</td><td>21</td></tr><tr><td>¹³N</td><td>1.19</td><td>1.5</td><td>10</td></tr><tr><td>¹⁵O</td><td>1.7</td><td>2.7</td><td>2</td></tr><tr><td>¹⁸F</td><td>0.63</td><td>0.9</td><td>110</td></tr></table>		Energie du positon (MeV)	Parcours moyen du β+ dans l'eau (mm)	T (mn)	¹¹ C	0.98	1.1	21	¹³ N	1.19	1.5	10	¹⁵ O	1.7	2.7	2	¹⁸ F	0.63	0.9	110
	Energie du positon (MeV)	Parcours moyen du β+ dans l'eau (mm)	T (mn)																		
¹¹ C	0.98	1.1	21																		
¹³ N	1.19	1.5	10																		
¹⁵ O	1.7	2.7	2																		
¹⁸ F	0.63	0.9	110																		
18F : le plus utilisé	- Sa demi-vie de 110 min (soit 1h et 50 min donc plus long que la période du 99mTc) permet qu'il soit livré depuis le cyclotron - La plupart des autres émetteurs TEP, de demi-vie plus courte ne peuvent être utilisés que sir le site du cyclotron (exception du gallium 68, de période 68 min, qui est un produit de générateur) - Le 18F permet de marquer diverses mol° - Le radiopharmaceutique le plus répandu : le 18F-fluorodésoxyglucose (analogue du glucose) : cancers +++, infection, myocarde cerveau																				
La TEP	La tomographie d'émission de positon (T.E.P.)  On n'a pas de collimateurs car les photons sont émis en coïncidences donc il faut qu'ils arrivent sur 2 récepteurs à 180° en même temps (impact à – de 10 ns d'écart). Ils sont dits coïncidents = issu de la même dégradations																				
La détection par coïncidence	- Célérité de la lumière : 3 10⁸ ms⁻¹ - Temps mis pour parcourir un mètre : 3,3 10⁻⁹ s - Diamètre d'un anneau TEP ≅ 70 cm - Si 2 photons sont détectés dans un intervalle de temps < 10 ns, ils sont considérés comme étant « en coïncidence » et avoir été issus de la même annihilation. - La direction de propagation est déterminée à partir de la position des détecteurs ayant reçu ces deux photons.																				

	- On améliore la qualité de l'image en utilisant la technique du « temps de vol ».
La technique du temps de vol	- La différence des instants d'impact des 2 photons d'annihilation sur les 2 détecteurs respectifs donne une indication sur la position exacte de l'origine des photons Conventionnel vs Temps de Vol
Similitude des reconstructions	- Quel que soit le type de rayonnement, le principe de la reconstruction repose sur la direction de propagation
SUV (standard uptake value)	- SUV = activité volumique du foyer (Bq ml^{-1}) * masse corporelle (g) / activité injectée (Bq). - SUV attendue des organes ne fixant pas de façon élective = 1 - Une valeur de SUV > 2,5 évoque une lésion active. SUV d'autant plus élevé que la lésion est active (valeur pouvant atteindre 10 ou plus avec le ^{18}F-FDG pour les lésions les plus actives)
Quantification : SUV	On a des zones qui fixent de façon physiologique mais il a aussi une autre zone qui fixe au niveau d'une lésion pulmonaire. On peut par un facteur de calibration représenter les SUV avec une échelle de couleur. Le cerveau fixe très intensément
Quel est l'intérêt d'associer plus° modalités ?	- On fusionne le scanner à la TEP et on a aussi des machines faites TEP et IRM - Meilleure localisation des lésions - Correction de l'atténuation - Amélioration du contraste - Complémentarité morphologie – fonctionnel Aide à la stratégie thérapeutique - Contrôle de l'efficacité d'une chimiothérapie - détermination de la cible en radiothérapie
Les radiopharmaceutiques en TEP	- Molécules marquées au fluor ^{18}F (période du ^{18}F = 110 minutes) - Fluorodésoxyglucose (FDG) - Fluoro L-DOPA - Fluorocholine - Fluorure de sodium (FNa)

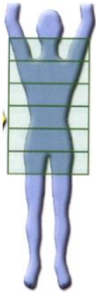
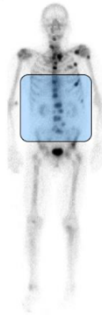
	- Molécules marquées au ^{11}C (période = 20 minutes) ou ^{15}O (période = 2 minutes) (domaine de la recherche) Pour la cardiologie pour la neurologie
68Ga	- 68 Ga : Émetteur de positon = produit de générateur et non plus de cyclotron - Plus de nécessité de livraison du radiopharmaceutique à partir d'un cyclotron - Générateur sur place dans le service de médecine nucléaire - On peut disposer du radiopharmaceutique à la demande - Permet de disposer d'émetteur de position de demi-vie plus courte que celle du ^{18}F (110 minutes)
TEP/ TEMP	TEP  TEP : anneau de détecteur, pas de collimateur, Acquisition volumique de tout le champ exploré, 20 minutes pour exploration volumique de la tête à mi-cuisse TEMP  TEMP : 1 à 3 têtes détectrices, chacune équipée de collimateur Une tomoscintigraphie explore un champ de 40 cm en environ 15 minutes 88

Tableau Récap 1 - Radiopharmaceutiques les plus utilisés en scintigraphie conventionnelle

Radiopharmaceutique				Fonction/tissu explorés
Radionucléide			Vecteur	
Isotope	Énergie	Période		
Technétium ^{99m}Tc	140 keV	6,0 h	HMDP	Accrétion osseuse (ostéoblastes)
			Sestamibi Tétrofosmine	Perfusion myocardique, parathyroïdes
			Hématies	Fraction d'éjection ventriculaire Recherche d'hémorragie
			Pertechnétate (TcO_4^-)	Fonction thyroïdienne
			HMPAO	Perfusion cérébrale
			Acide iminodiacétique (IDA)	Fonction hépatobiliaire
			Macro-agrégats d'albumine	Perfusion pulmonaire
			Microparticules de carbone (Technegas®)	Ventilation pulmonaire
			Acide dimercaptosuccinique (DMSA)	Masse rénale fonctionnelle
			DTPA	Filtration rénale
			MAG3®, Nephromag®	Perfusion rénale, sécrétion, drainage urinaire
			Leucocytes marqués à l'hexaméthyl propylène amine oxime (HMPAO)	Foyer infectieux
Thallium ^{201}Tl	69 keV, 71 keV, 80 keV	3,1 j	–	Perfusion myocardique
Krypton ($^{81\text{m}}\text{Kr}$)	190 keV	13 s	–	Ventilation pulmonaire
Iode ^{123}I	160 keV	13 h	–	Fonction thyroïdienne
			Ioflupane	Neurotransmission dopaminergique
			MIBG	Médullosurrénale (phéochromocytome, neuroblastome)
^{131}I	364 keV	8 j	Noriodocholestérol	Corticosurrénale
Indium (^{111}In)	171 keV, 245 keV	2,8 j	Pentétréotide	Récepteurs à la somatostatine (tumeur neuroendocrine)

Tableau 2 Récap - Période des principaux radionucléides utilisables en TEP / Radiopharmaceutiques les plus utilisés en TEP

Radionucléide	Période
^{18}F	110 min
^{68}Ga	68 min
^{82}Rb	75 s
^{11}C	20 min
^{13}N	10 min
^{15}O	2 min

Radiopharmaceutique	Fonction explorée
^{18}F -FDG (fluorodésoxyglucose)	Métabolisme glucidique
^{18}F -FCH (fluorocholine)	Métabolisme lipidique membranaire
$^{18}\text{F}^-$ (fluorure ou FNa)	Accrétion osseuse
^{18}F -FDOPA	Métabolisme des acides aminés Neurotransmission dopaminergique