

# COURS DE MÉDECINE NUCLÉAIRE

- I. Introduction

- II. Place de l'imagerie en médecine nucléaire

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

## II.1. Les trois types d'imagerie

- II.1.1. Imagerie morphologique ou anatomique

- II.1.2. Imagerie fonctionnelle

- II.2. Principe de l'imagerie fonctionnelle

- III. Les Radiotraceurs

- III.1. Contraintes chimiques

- III.2. Contraintes physiques

- III.2.1. Nature du rayonnement émis

- III.2.2. Période du radiotracer

- III.2.3. Activité spécifique du radiotracer

- III.3. Exemples de radiotracteur
- III.3.1. Radiotraceurs émetteurs de photons gamma
- III.3.2. Radiotraceurs émetteurs de positons
- III.4. Production des radiotraceurs
- III.4.1. Générateurs
- III.4.2. Cyclotrons
- III.4.3. Marquage
- Stratégies de marquage
- Réalisation pratique (marquage au Tc99m)
- IV les Détecteurs
- IV.1. Imagerie monophotonique
- IV.1.1. Historique

- IV.1.2. La gamma caméra
- Le collimateur
- Le cristal scintillant
- Les tubes photomultiplicateurs
- Le circuit électronique de positionnement
- IV.1.3. Images issues des gamma caméras
- IV.1.4. Performances des gamma caméras
- Pet scan
- Les examens scintigraphiques :  
( scinti osseuse , rénale, pulmonaire, cardiaque, et thyroïdienne ).

Le role du tech radio dans une unité de MN

- L'imagerie médicale est un domaine actuellement en pleine expansion. Les rayonnements ionisants y jouent un rôle www.ispits.net important aussi bien pour détecter et caractériser des anomalies morphologiques (anatomique) que pour étudier des phénomènes physiologiques (fonctionnelle).
- nous nous intéressons exclusivement à l'utilisation des rayonnements ionisants pour l'imagerie des phénomènes physiologiques, qualifiée d'imagerie fonctionnelle, pratiquée dans les services dits de « médecine nucléaire ».

- L'objectif de ce premier cours est de présenter les www.ispits.net notions fondamentales à la compréhension du fonctionnement des différentes techniques d'imagerie fonctionnelle utilisées en médecine nucléaire.

(SPECT/CT et PET/ CT)

- Le second cours est consacré aux différents types d'explorations fonctionnelles réalisables au moyen de ces techniques d'imagerie.

- Les trois éléments autour desquels s'articule l'imagerie en médecine nucléaire sont:

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Les **radiotraceurs**, qui sont les substances utilisées pour étudier des phénomènes physiologiques.
- les **détecteurs**, qui enregistrent les signaux émis par les radiotraceurs.
- et enfin le **traitement de l'information**, qui, à partir des signaux délivrés par les détecteurs, conduit à des images caractérisant les phénomènes physiologiques étudiés.

# Les trois types d'imagerie

www.ispits.net

- En 1895, Röntgen montrait, pour la première fois, que les RX pouvaient servir à explorer l'intérieur du corps humain. Cette date marque le début d'une longue activité de recherche et de développement en imagerie médicale, qui a donné lieu à différentes modalités d'imagerie:
  - Radiographie
  - Tomodensitométrie – TDM
  - et imagerie par résonance magnétique- IRM.

- Ces 3 modalités permettent actuellement d'explorer quasiment toutes les composantes du corps humain, et la façon dont ces composantes fonctionnent.

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Chaque modalité d'imagerie repose sur des principes physiques différents, et fournit des signaux de nature physique différente.
- Actuellement, on peut distinguer trois types d'imagerie : l'imagerie anatomique, l'imagerie fonctionnelle et l'imagerie moléculaire.

# Imagerie morphologique ou anatomique

- L'imagerie **morphologique ou anatomique** a pour vocation de mettre en évidence des anomalies morphologiques. Un exemple bien connu est la radiographie conventionnelle, utilisée, par exemple, pour détecter des fractures
- Un autre exemple est celui des échographies foetales permettant de contrôler le développement du foetus chez les femmes enceintes

# Imagerie fonctionnelle

- L'imagerie fonctionnelle vise à étudier, au moyen d'images, des processus **physiologiques** comme, par exemple, la perfusion d'un organe. Ce type d'imagerie est complémentaire à l'imagerie anatomique. Il permet a priori de détecter des **dysfonctionnements** qui vont précéder l'apparition d'anomalies morphologiques.
- C'est la raison pour laquelle **l'imagerie fonctionnelle** devrait permettre de détecter des pathologies de façon plus **précoce** que l'imagerie anatomique, qui révèlent uniquement les conséquences des pathologies sur la morphologie ou la structure des organes.

- L'élément crucial en **imagerie fonctionnelle** est la www.ispits.net spécificité de la substance que l'on utilise pour étudier le phénomène physiologique d'intérêt.
- Plus cette substance donne des informations sur un phénomène précis, plus puissante est la technique.

# Principe de l'imagerie fonctionnelle

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- La plupart des organes ont pour fonction la **synthèse** d'une substance spécifique ou l'utilisation d'un substrat pour synthétiser une substance. L'imagerie fonctionnelle va donc consister à :
- - Identifier le phénomène métabolique ou fonctionnel à étudier
- - Identifier un substrat caractéristique de la fonction métabolique ou physiologique à étudier : ce substrat est **le traceur**

□ - “Marquer” ce traceur à l’aide d’un marqueur qui se prête à une détection externe.

□ - Déterminer le devenir du traceur dans l’organisme pour étudier ainsi la fonction métabolique ou physiologique.

# Un exemple simple

www.ispits.net

- illustrant le principe de l'imagerie fonctionnelle est l'imagerie de la synthèse des hormones thyroïdiennes. Le substrat indispensable à la synthèse de ces hormones est **l'iode** circulant dans le sang. Le marquage peut se faire simplement en administrant au sujet de **l'iode radioactif** qui viendra se mêler à l'iode stable présent naturellement dans la circulation sanguine :
- le traceur marqué est donc l'iode radioactif.

□ Des détecteurs appropriés sont ensuite utilisés pour localiser l'iode radioactif au niveau de la thyroïde et en mesurer la concentration, fournissant ainsi des informations précises utilisées pour caractériser la synthèse des hormones thyroïdiennes.

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ **En résumé**, pour mettre en œuvre un processus **d'imagerie fonctionnelle**:

□ il faut un **traceur marqué**

□ un **détecteur** pour **détecter le traceur marqué**,

□ et des **techniques de traitement** de l'information pour caractériser la distribution du traceur dans l'organisme à partir des signaux détectés.

# III. Les Radiotraceurs

## III.1. Contraintes chimiques

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- **En médecine nucléaire**, les traceurs marqués sont des **radiotraceurs**.
- **Les radiotraceurs** sont soit des radionucléides (Iode 123 par exemple), soit l'association d'une substance et d'un radionucléide.
- La fonction du radiotraceur est d'être témoin d'un phénomène biologique.

□ Pour être utilisable, un radiotracteur doit satisfaire un ensemble de **contraintes chimiques et physiques**.

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- 1- Le radiotracteur doit être **stable** (au sens chimique du terme) dans le sang (enzymes protéolitiques)
- 2- Le radiotracteur doit pouvoir être délivré au tissu cible

- 3- L'adjonction du marqueur radioactif ne doit pas modifier les propriétés du substrat considéré. Sa concentration doit donc être extrêmement faible, généralement **nanomolaire**, pour que la présence du radiotraceur ne perturbe pas le phénomène étudié.
- 4- La liaison entre le traceur et le marqueur doit être forte, pour éviter que le marqueur se détache,
- 5- Le traceur doit rester attaché à sa cible après l'avoir rencontré, tandis que le traceur n'ayant pas rencontré sa cible doit être éliminé le plus rapidement possible de la circulation.

□ Le traceur peut être :

□ **une molécule**

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ **un anticorps**

□ **une hormone**

□ **un groupe de molécules**

□ **des cellules (globules rouges ou blancs).**

□ c/c: Une très grande variété d'études fonctionnelles au moyen des techniques d'imagerie en médecine nucléaire.

# Contraintes physiques

## □ Nature du rayonnement émis

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Ce rayonnement doit, d'une part, être détectable par des dispositifs externes de détection et, d'autre part, ne pas être nocif pour l'organisme.
- Parmi les trois types de rayonnement émis par des radionucléides ( $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ ), seuls, les rayonnements  $\beta$  + et  $\gamma$  sont utilisables pour l'imagerie en M N.

- En effet, les  $\alpha$  (noyaux d'Hélium) ont un libre parcours moyen de 0,03 mm dans les tissus. Par conséquent, ces rayonnements ne s'échappent pas de l'organisme, et ne peuvent pas être détectés par des dispositifs externes à l'organisme.
- les rayonnements  $\beta^-$  ne peuvent traverser typiquement que quelques millimètres de tissus avant d'être absorbés, et ne sont pas détectables par des détecteurs externes.

- En revanche, les rayonnements  $\beta^+$ , bien qu'ils ne parcourent pas un long chemin dans l'organisme (de l'ordre de quelques mm), peuvent donner lieu à un signal détectable.
- Le positon s'annihile avec son antiparticule, l'électron, lors d'une réaction d'annihilation, suite à laquelle les masses des deux particules sont converties en énergie. Cette énergie apparaît sous la forme de deux photons d'annihilation, qui partent dans des directions quasiment opposées.

- Chacun photon à une énergie de 511 keV. Ce sont les deux photons de 511 keV émis « en coïncidence » www.ispits.net qui peuvent être détectés, et ainsi témoigner de l'émission d'un positon non loin de la ligne joignant les deux photons détectés.
- Ces photons sont suffisamment pénétrants pour traverser l'organisme et se prêtent bien à une détection externe
- Les radionucléides émetteurs de rayonnements  $\gamma$  sont donc largement utilisés pour l'imagerie.

# En résumé

www.ispits.net

seuls des radionucléides émetteurs de rayonnement  $\beta^+$  ou de rayonnement  $\gamma$  sont utilisés comme marqueurs pour l'imagerie en médecine nucléaire.

- Les photons  $\gamma$  dans le cas de radionucléides émetteurs de rayonnement  $\gamma$
- soit des photons d'annihilation de 511 keV dans le cas de radionucléides émetteurs de  $\beta^+$ .

# Période du radiotraceur

□ **Définition:** c'est la durée à l'issue de laquelle l'activité dans l'organisme est divisée par deux à la fois par: [www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ 1- L'effet de la décroissance radioactive

□ 2-L'élimination biologique

□ Cette période effective doit être ;

□ 1- Suffisamment longue pour permettre l'examen d'imagerie

□ 2- Suffisamment courte pour ne pas entraîner d'irradiations nocives du patient et des problèmes de radioprotection

□ La période effective  $T_e$  du radiotraceur est fonction:

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ 1- à la fois de la période physique  $T_{ph}$  du radionucléide  
(durée à l'issue de laquelle l'activité du radionucléide est  
divisée par deux)

2- de la période biologique  $T_b$  du traceur

(durée à l'issue de laquelle la quantité de traceur présent  
dans l'organisme est divisée par deux, suite à l'excrétion  
du traceur)

$$T_e = \frac{T_{ph} \cdot T_b}{T_{ph} + T_b}$$

# Radiotraceurs émetteurs de photons gamma

www.ispits.net

Le radionucléide émetteur de photons largement le plus utilisé est le Technétium 99 métastable.

- Le terme métastable qualifie un état instable avant de se transformer en un autre état (période = 6,03 heures).
- Comme tous les émetteurs de photons  $\gamma$ , il émet un spectre de raies qui lui sont spécifiques.

- le Tc99m émet une raie unique à 140 keV. Cette énergie est particulièrement bien adaptée aux performances de détection des détecteurs utilisés en imagerie monophotonique. www.ispits.net
- L'intégration de Tc99m dans des molécules biologiques intéressantes est difficile, mais peut être réalisée.
- Deux autres radionucléides émetteur de photons gamma sont communément utilisés en imagerie monophotonique : l'Iode 123 (159 keV,  $T_{ph}=13$  h).

- le Thallium 201 (émetteurs de rayons X entre 60 et 70 keV,  $T_{ph}=3,05$  jours)

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- l'Indium 111 (deux raies d'émission à 171 keV et 245 keV,  $T_{ph}=2,81$  jours)
- plus marginalement, le Gallium 67 (trois raies d'émission à 93, 185 et 300 keV,  $T_{ph}=3,26$  jours).

# Radiotraceurs émetteurs de positons

- La plupart des émetteurs de positons utilisés en médecine nucléaire sont des isotopes d'éléments naturellement présents dans l'organisme.
- Les émetteurs de positons les plus utilisés sont:
  - 1- le Carbone 11 (C11,  $T_{ph}=20$  min)
  - 2- l'Oxygène 15 (O15,  $T_{ph}=2$  min)
  - 3- l'Azote 13 (N13,  $T_{ph}=10$  min).
- Ces émetteurs peuvent remplacer l'atome stable correspondant dans de nombreux composants biologiques, dont les propriétés biochimiques restent alors inchangées

- Le Fluor 18 (F18,  $T_{ph}=20$  min), est un radionucléide ayant une importance majeure en médecine nucléaire.

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Présentant des propriétés chimiques proches de celle de l'hydrogène ou du groupement hydroxyl OH
- Il peut se substituer à l'hydrogène ou à des groupements OH pour obtenir des radiotraceurs analogues de composants naturels

- Le fluor est largement utilisé comme marqueur, à cause:

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- 1- de sa petite taille

- 2- du lien très fort entre le Fluor et le Carbone.

- Le radiotracteur le plus utilisé en TEP est un analogue du glucose, le fluorodeoxyglucose (FDG).

- Le FDG est un excellent radiotracteur pour un vaste domaine de pathologies: neurologie

- cardiologie et la plupart des cancers.

# Production des radiotraceurs

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- La plupart des radionucléides sont produits par:
  - 1- des **réacteurs nucléaires**
  - 2- des **générateurs**
  - 3- des **cyclotrons**

# Générateurs

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- C'est un ensemble de radionucléide père-fils contenu dans un appareil qui permet la séparation du produit fils de son père.
  
- Le fils est produit de façon continue par la désintégration du père, ce qui permet d'extraire le produit fils du générateur de façon répétée.

# Cyclotrons

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Il s'agit d'accélérateurs de particules chargées, tels que des protons, des deutérons (noyaux d'Hydrogène), ou des particules alpha.
- Les cyclotrons sont largement utilisés pour la production de radionucléides utilisés en médecine nucléaire, par exemple pour la production de F18, C11, N13, O15, I123, Tl201, In111.

# Marquage (Stratégies de marquage )

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- **Deux stratégies de marquage:**
  - **1- Les petites molécules**
  - **2- Les grosses molécules**

# Pour les petites molécules

www.ispits.net

- le marquage le plus simple:
- 1 - est la **substitution directe**
- remplacer un **atome stable** par un **atome radioactif** du même élément.
- Le composé résultat a alors strictement les mêmes propriétés que le composé non marqué.
- Cette technique est bien adaptée pour les **éléments naturellement présents dans l'organisme (O15, C11, N13)**.

# 2-utiliser des analogues

□ c'est-à-dire de **modifier le composé initial** www.ispits.net

□ **L'usage d'analogue** permet aux chimistes de **modifier les propriétés biologiques** d'une substance:

□ 1-son **taux de fixation**

□ 2- **taux d'élimination**

□ 3- **ou son métabolisme.**

□ Un exemple typique est le **FDG**, qui présente un métabolisme identique à celle **du glucose**,  
mais qui, contrairement au glucose, reste ensuite **piégé dans les cellules**.

□ facilite grandement l'obtention d'images révélant la consommation cellulaire de glucose

## □ Remarque:

www.ispits.net

- **L'inconvénient** des analogues est que les modifications de comportement de l'**analogue** par rapport au **composé original** doivent être bien comprises pour interpréter correctement l'information physiologique traduite par la présence de l'**analogue** dans un système biologique.

# Les grosses molécules

www.ispits.net

## □ les grosses molécules:

- 1-anticorps

- 2-Protéines

- **La stratégie** consiste à **fixer le marqueur loin du site biologiquement actif** de la molécule.

- le marquage n'interfère pas avec les propriétés biologiques de la molécule.

# Réalisation pratique (marquage au Tc99m)

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- **de nombreux radiotraceurs marqués au Tc99m** peuvent être synthétisés rapidement et facilement au sein même de l'hôpital, par des techniciens, en **mélangeant du Tc99m issu du générateur par la molécule désirée.**

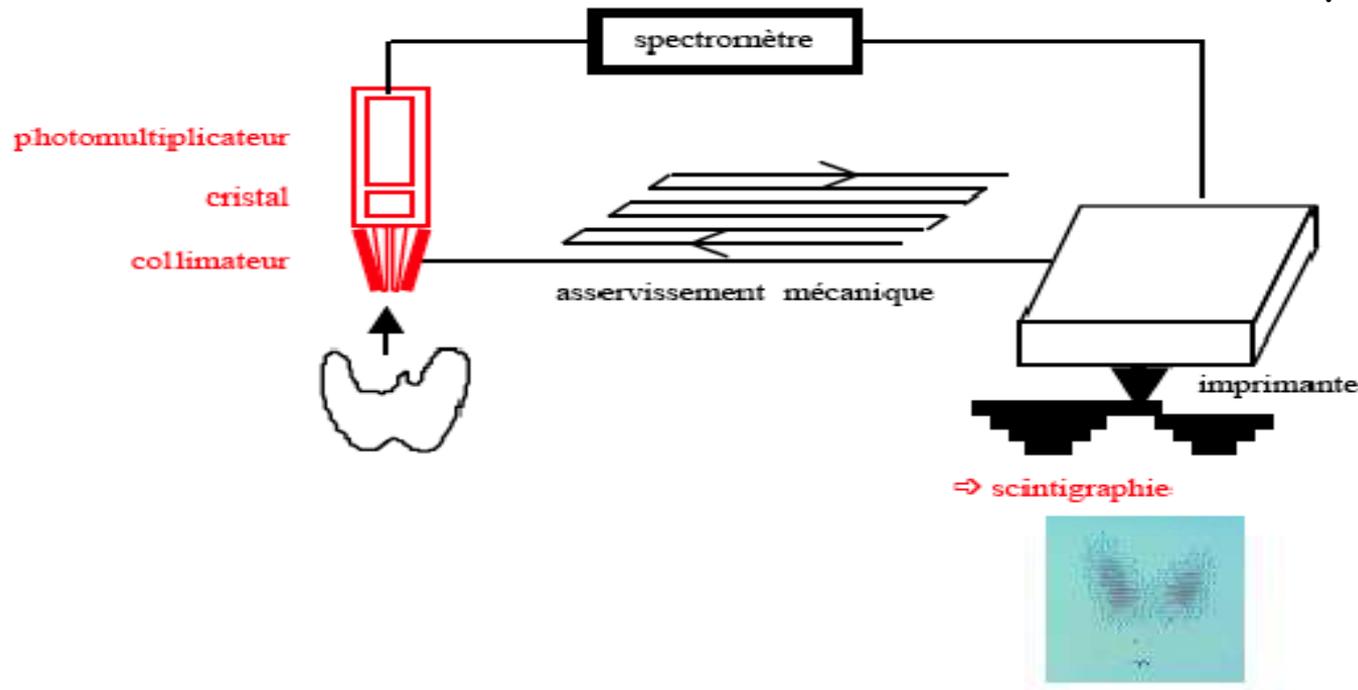
# Radiotraceurs émetteur de positons

- L'utilisation de radiotraceurs émetteur de positons est pénalisée par la période physique très courte de la plupart des émetteurs de positons :
- le radionucléide doit être produit à proximité du lieu de marquage et d'utilisation du radiotraceur
- faible diffusion des radiotraceurs marqués au C11, O15, N13.

□ **le marquage** de ces émetteurs de positons est souvent **plus délicat** que celui des émetteurs de photons gamma et requiert, la plupart du temps, **un laboratoire de radiochimie**

□ **Le F18 échappe** à ces contraintes, grâce à sa **période relativement longue (2 heures)** qui autorise sa **production** en un site et sa **livraison** entre un autre site distant de quelques **dizaines à une centaine de kilomètres**

# La scintigraphie à balayage



- En 1948, les premières « images » révélant le métabolisme des hormones thyroïdiennes ont été obtenues en utilisant I 131 comme radiotraceur et un compteur **Geiger-Müller** (gaz)

- le compteur **Geiger-Müller** était déplacé devant la région à explorer, en le laissant pendant une durée fixe face à chaque « point » de la région

- en 1951, Ce principe de **balayage** a été conservé mais amélioré en remplaçant le compteur **G-Müller** par un **scintillateur**, à la fois plus **efficace** et plus **sensible** à l'énergie des photons détectés.

□ Le détecteur à scintillations était composé:

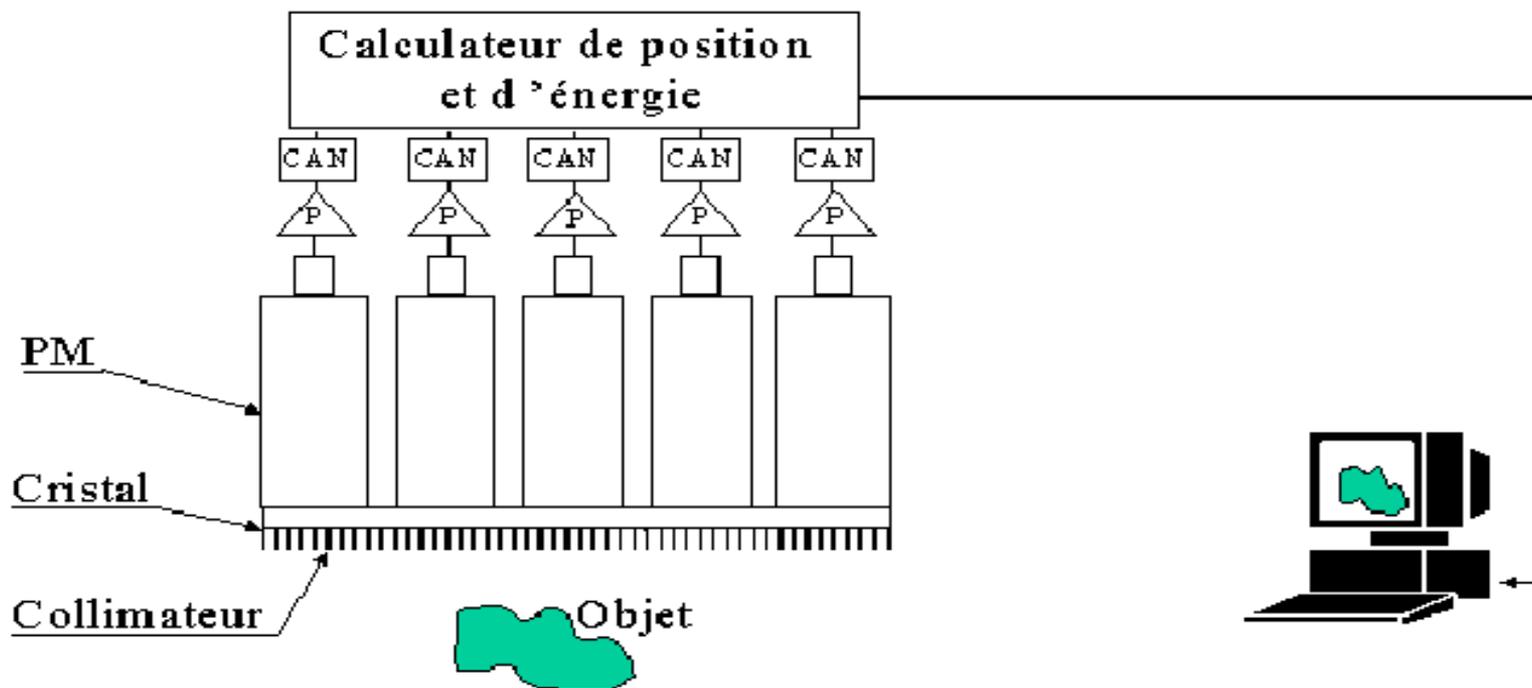
[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Un collimateur en plomb arrêtant les photons provenant de régions autres que la région explorée
- Un cristal scintillant, destiné à détecter les photons
- Un tube photomultiplicateur, convertissant des scintillations en signal électrique
- inconvénient de la **scintigraphe à balayage** était la **durée** nécessaire à l'obtention d'une image

# gamma caméra

- En 1958, Hal Anger introduisit le concept de **caméra d'Anger**, ou **gamma caméra**, permettant l'exploration simultanée de toute une région.

Schéma de principe d'une gamma-caméra digitale



CAN : Convertisseur Analogique → Numérique

P : Préamplificateur

# Le collimateur

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Le collimateur est une plaque d'un matériau très dense (**Plomb ou Tungstène**), percée de canaux à section circulaire ou hexagonale.
- La cloison séparant les canaux est appelé **septum**.
- La direction des canaux détermine la géométrie de collimation.

□ Il existe différents collimateurs, qui varient:

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ 1- La géométrie des canaux

□ 2- Leur épaisseur

□ 3- La dimension des trous

□ 4- L'épaisseur des **septa**

- Ces paramètres doivent être choisis en fonction du marqueur utilisé.

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Plus celui-ci émet à une énergie élevée , plus épais devront être le collimateur et les septa pour arrêter les rayonnements n'arrivant pas dans la bonne direction
- Le diamètre et la longueur des canaux affectent en outre la résolution spatiale.

□ Le diamètre et la longueur des canaux définissent l'angle d'acceptance des photons incidents

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ Plus cet angle est élevé, moins le collimateur sélectionnera précisément les photons en fonction de leur direction.

□ C'est ainsi qu'il existe des collimateurs dits:

□ 1- « haute résolution » (trous petits)

□ 2- « basse résolution ».

□ Quatre géométries de collimation sont traditionnellement utilisées :

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- 1- Parallèles
- 2- Sténopés
- 3- en éventail
- 4- Coniques

# collimateur parallèle

- les **collimateurs parallèles**, dans lesquels tous les trous ont des **axes parallèles**, perpendiculaires à la surface du collimateur.
- Les paramètres typiques d'un tel collimateur sont:
  - 1- des trous de 1,2 mm de diamètre
  - 2- 3 cm de longueur
  - 3- septa de 0,2 mm d'épaisseur.

# Le collimateur sténopé

- Le **collimateur sténopé** consiste en un cône en Plomb au bout duquel se trouve un trou dont le diamètre est de quelques millimètres
- L'intérêt de ce type de collimateur réside dans l'effet d'agrandissement qu'il produit
- Ce collimateur est surtout utilisé pour l'imagerie des petits organes (thyroïde par exemple).

# Le collimateur en éventail

- Il présente des trous convergents dans une direction, www.ispits.net et parallèles dans la direction perpendiculaire.
- Leur efficacité (i.e. le pourcentage de photons qu'ils laissent passer dans la bonne direction) est supérieure d'un facteur voisin de 1,5 à celle des collimateurs parallèles.
- En outre, leur résolution spatiale est améliorée dans la direction de convergence par rapport à la résolution spatiale de collimateurs parallèles. Ils sont notamment utilisés pour l'imagerie du cerveau.

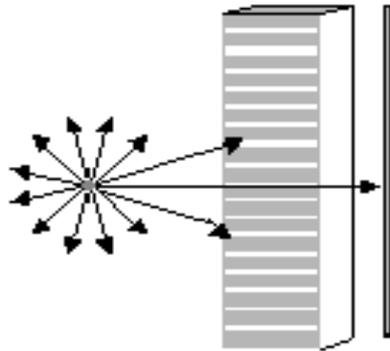
# Le collimateur conique

-  Le collimateur conique est percé de trous www.ispits.net convergents dans les deux directions, vers un point comme les collimateurs en éventail.
- leur principal avantage réside dans leur efficacité accrue par rapport à la collimation parallèle (par un facteur voisin de 3) et une résolution spatiale améliorée.
  - La contrepartie est un champ de vue réduit.

# Différents types de collimateurs utilisés dans la gamma caméra

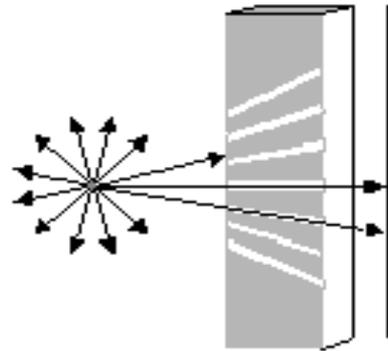
[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

A



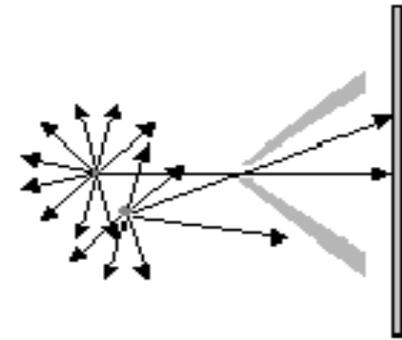
Collimateur à trous parallèles

B



Collimateur en éventail (fan-beam)

C



Collimateur sténopé (pin-hole)

# Le cristal scintillant

- Ce cristal a pour rôle d'arrêter les photons incidents et de convertir l'énergie déposée par ces photons en scintillations lumineuses.
- Le cristal toujours utilisé dans les gamma caméras est un cristal de **Nal(Tl)**, rectangulaire ou circulaire, dont la plus grande dimension peut aller jusqu'à 60 cm
- Les caractéristiques de ce cristal le rendent particulièrement bien adapté à l'imagerie des photons dont l'énergie va de **70 à 200 keV**

□ Il est suffisamment dense ( $3,7 \text{ g/cm}^3$ ) et contient un élément de numéro atomique élevé (www.ispits.net **iode,  $Z=53$** )

□ il arrête donc efficacement les photons dont l'énergie est inférieure à 200 keV

□ C'est un scintillateur présentant un bon rendement lumineux : 13% de l'énergie déposée est réémise sous forme de photons de fluorescence d'énergie 3 eV (430 nm)

□ La lumière qu'il produit (bleu-verte, à 415 nm environ) est bien adaptée pour un traitement par des tubes photomultiplicateurs.

□ il autorise des taux de comptage relativement élevés

□ Son principal inconvénient est son caractère **hygroscopique** (sensible à l'humidité) : il requiert donc une **isolation hermétique**.

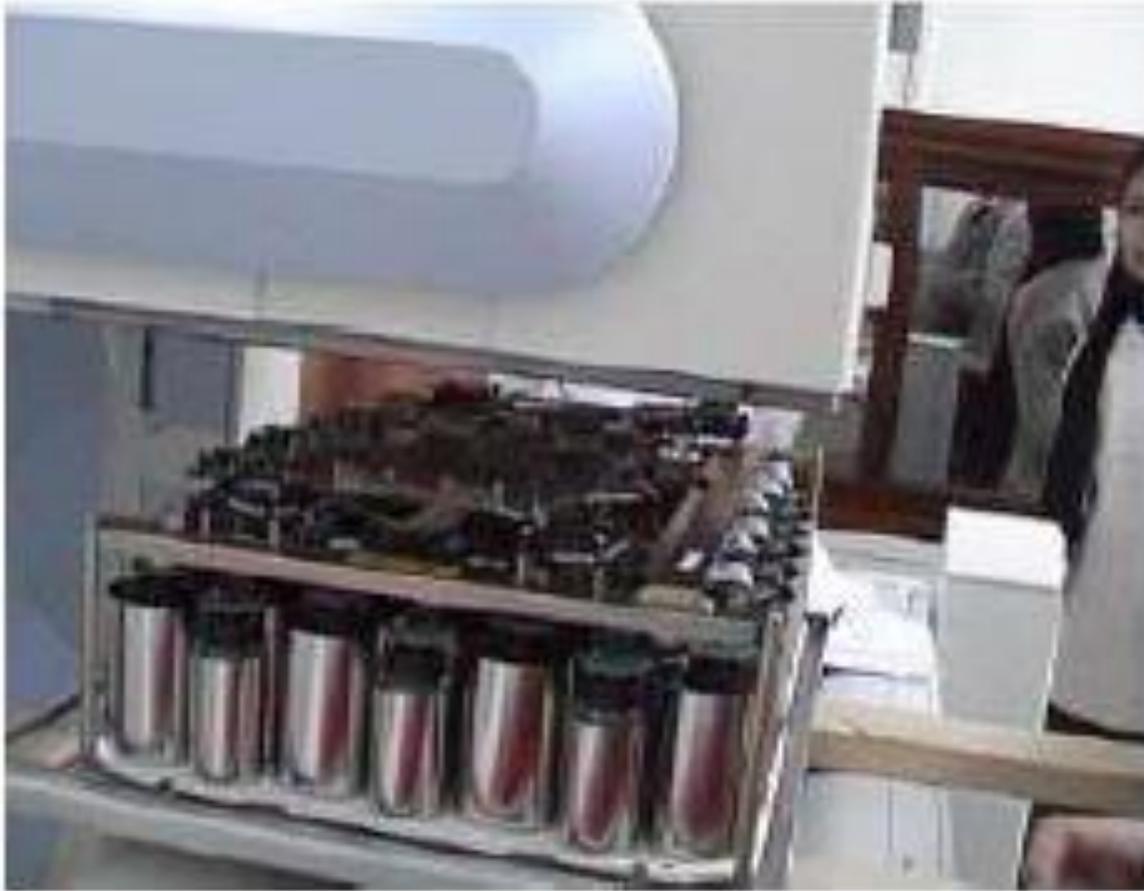
- plus le cristal est épais, plus la détection est efficace

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- la résolution spatiale, qui se dégrade quand le cristal devient plus épais.
- Les **caméras actuelles** ont des cristaux **Nal(Tl)** de 9,5 mm ou 12,5 mm d'épaisseur

# Les tubes photomultiplicateurs

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

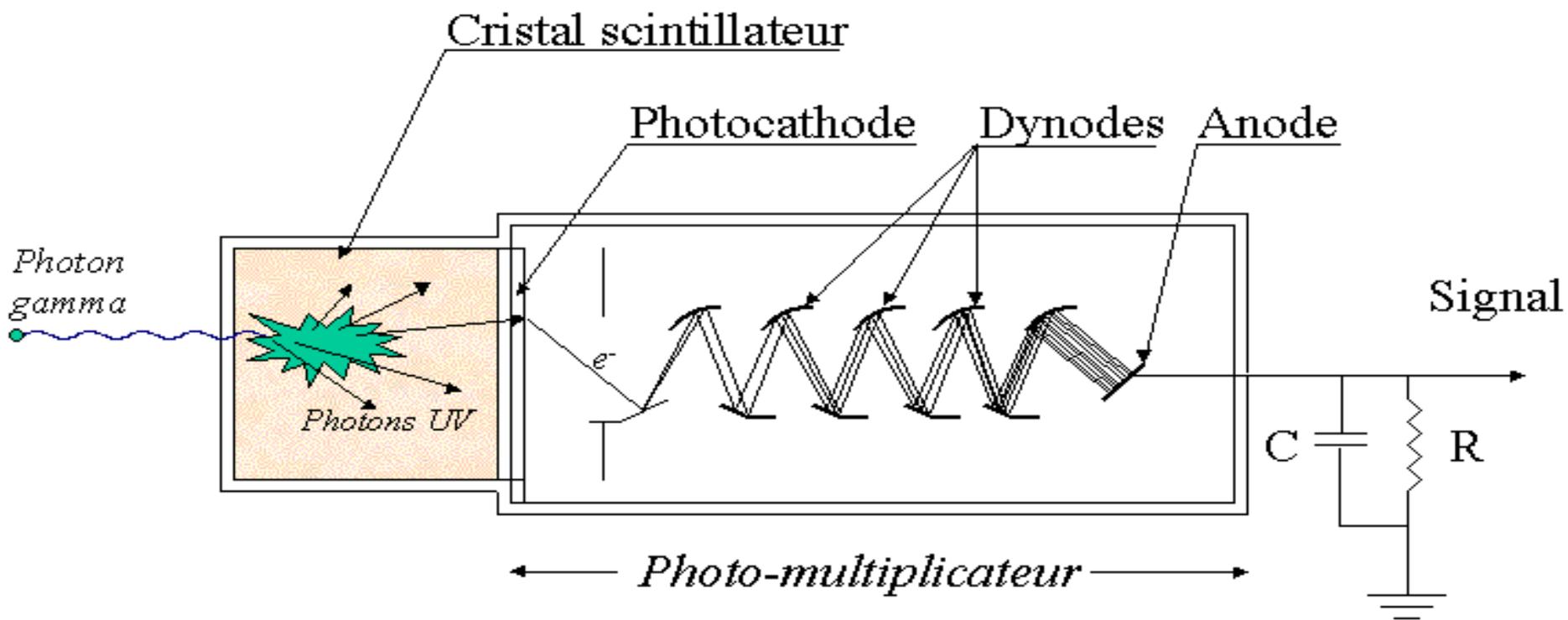


□ Un réseau de tubes photomultiplicateurs est couplé optiquement à la face arrière du cristal

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ Les tubes photomultiplicateurs à section circulaire sont généralement disposés suivant un motif hexagonal, pour maximiser la surface du cristal couverte par les fenêtres d'entrée des tubes.

□ Les caméras modernes comportent entre 50 et 100 tubes photomultiplicateurs.



□ Le tube photomultiplicateur est un tube à vide comportant une photocathode (potentiel négatif) et une anode (potentiel positif) entre lesquelles se trouvent des dynodes.

□ Frappée par des photons lumineux, la photocathode émet des électrons par effet photoélectrique

□ Chacun des photoélectrons extraits de la cathode est accéléré par la différence de potentiel existant entre la première dynode et la cathode

- Si l'électron atteint la dynode avec une énergie cinétique suffisante, il peut en arracher  $P$  autres électrons ( $P$  vaut 4 ou 5).
- Ces électrons sont ensuite accélérés par la différence de potentiel entre la première et la deuxième dynode : en frappant celle-ci, ils en arrachent chacun  $P$  électrons, et ainsi de suite, jusqu'à la cathode.
- Les électrons finalement collectés au niveau de la cathode donne un signal électrique mesurable en sortie.

- Le facteur d'amplification des tubes photomultiplicateurs peut aller jusqu'à 1 000 000.

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Les tubes photomultiplicateurs sont isolés dans une boîte imperméable aux champs magnétiques
- **Le circuit électronique de positionnement**
  - 1- Permet de déterminer la **position** de la scintillation lumineuse
  - 2- L' énergie est analysée par un spectromètre

# Images issues des gamma caméras

- Les images délivrées par une gamma caméra www.ispits.net représentent la projection de la distribution spatiale du radiotraceur dans le plan de détection.
- En chaque point de l'image, c'est l'intégrale de l'activité dans la direction de projection correspondante qui est mesurée.
- Il s'agit donc d'images bidimensionnelles (2D), dites « planaires ».

# Performances des gamma caméras

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Résolution spatiale
- Résolution en énergie
- Sensibilité
- Linéarité
- Uniformité et taux de comptage

# La résolution spatiale

- **La résolution spatiale** intrinsèque des caméras actuelles (sans collimateur), qui correspond à la distance devant séparer 2 sources pour qu'elles soient discernables, est de l'ordre de 3 à 4,5 mm.
- C'est surtout le collimateur qui dégrade la résolution spatiale des systèmes, du fait de la dimension des trous.
- Les systèmes actuels, munis d'un collimateur, ont des **résolutions spatiales** supérieures à 6 mm.

## □ La résolution en énergie

- **La résolution en énergie** est de l'ordre de 9% à 140 keV.

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Les taux de comptage, avec 20% de pertes, sont de l'ordre de 200 000 coups par seconde sur tout le champ de la caméra.

## □ La sensibilité

- **La sensibilité** est de l'ordre de 0,01%, c'est-à-dire que l'on détecte 1 photon pour 10000 photons émis

# Application Médicale De la M N

- **Le technétium** mérite une attention particulière; il est de loin le plus utilisé, car il présente plusieurs avantages:
  - ▶ Les photons gamma qu'il émet ont une énergie optimale pour un maximum de sensibilité des systèmes usuels de détection.
  - ▶ Cet élément est facilement disponible en routine.

- ► Sa demi-vie physique est de 6 h : elle est par conséquent assez brève pour limiter l'irradiation du sujet, et assez longue pour que la décroissance soit négligeable lors des acquisitions durant quelques minutes.
- ► Il peut être associé à de nombreuses **molécules** ayant un intérêt **biologique**.
- ► Il est relativement peu coûteux par rapport à d'autres isotopes.

# Mode d'administration

- Le radio-isotope peut être administré: [www.ispits.net](http://www.ispits.net)
- ► Seul (ex. xénon  $^{133}\text{Xe}$ )
- ► Associé à des molécules non biologiques (ex. pertechnétate de sodium)
- ► Associé à des molécules biologiques (ex.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  associé à la sérum-albumine)
- ► Associé à des structures présentes dans l'organisme (ex.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  dans des hématies,  $^{111}\text{In}$  dans des plaquettes sanguines)

# Voies d'administration

□ Le traceur peut être administré:

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

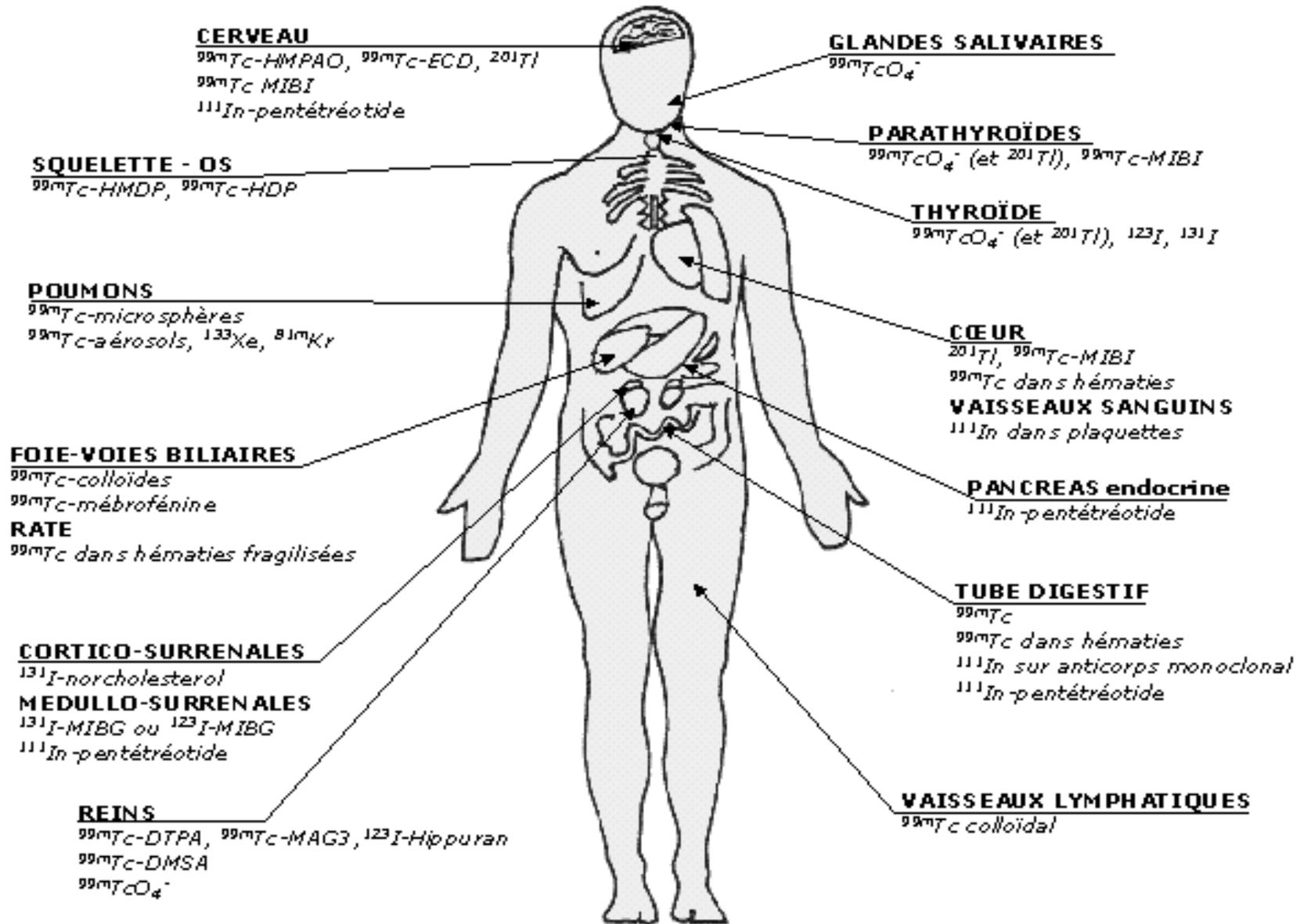
- ► Par voie veineuse (le plus souvent)
- ► Par inhalation (spécialement dans le cas des scintigraphies pulmonaires pour l'étude de la ventilation)
- ► Par voie orale (spécialement pour l'étude de la vidange gastrique et des reflux gastro-œsophagiens)

□ ► Par voie intratécale (spécialement pour l'étude de la circulation du liquide céphalo-rachidien)

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ ► Par voie artérielle (très rarement)

# Exemples d'utilisation des radio-isotopes



- Par exemple, on réalise des images de la **thyroïde** en injectant de **l'iode**, pour lequel cette glande a une grande **affinité**
- **le xénon**, de part sa **nature gazeuse** et sa solubilité, convient bien aux études **pulmonaires**
- **le thallium**, qui a des propriétés chimiques et biochimiques voisines de celle du **potassium**, est ainsi un marqueur du capital potassique intracellulaire, en particulier pour **le cœur**.

□ **Les hématies** contenant du technétium permettent de visualiser les cavités cardiaques. [www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ Certaines molécules ont été créées pour répondre à un besoin spécifique : l'HMPAO (Hexa-Methyl-Propylène-Amine-Oxime) marqué au technétium se fixe quasiment proportionnellement au débit sanguin cérébral, et permet ainsi de visualiser des zones de perfusion anormale.

# Quelques indications de la M N

- La M N permet d'étudier le fonctionnement des organes
- On peut distinguer deux versants, **diagnostique et thérapeutique** de la M N.
- La **Médecine Nucléaire** :
  - ► Visualisation de métastases osseuses
  - Recherche de nodules thyroïdiens hyper ou hypoactifs

□ ► Diagnostic d'embolie pulmonaire

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ ► Etude de la viabilité myocardique

□ ► Mesure de la fraction d'éjection du ventricule gauche

□ ► Recherche de sténose artérielle rénale

# □ ► Estimation de la vascularisation d'un greffon rénal

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- ► Accidents vasculaires cérébraux, ischémies, anévrismes
- ► Recherche d'une hémorragie digestive
- ► Recherche de foyers infectieux (p.ex. après la pose d'une prothèse)

- Le versant **thérapeutique** utilise les possibilités curatives de la radioactivité:

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- ► Une substance radioactive beta, **d'activité plus importante** que pour une visée diagnostique, est administrée au sujet et se fixe de façon spécifique et durable sur l'organe à irradier.
- ► Cette irradiation entraîne une cytolyse progressive des cellules (destruction des structures cytoplasmiques et nucléaires).

- Cet aspect thérapeutique de la Médecine Nucléaire concerne essentiellement : [www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- le traitement de l'hyperthyroïdie par l'iode  $^{131}\text{I}$

- le traitement de la polyglobulie primitive par le phosphore  $^{32}\text{P}$

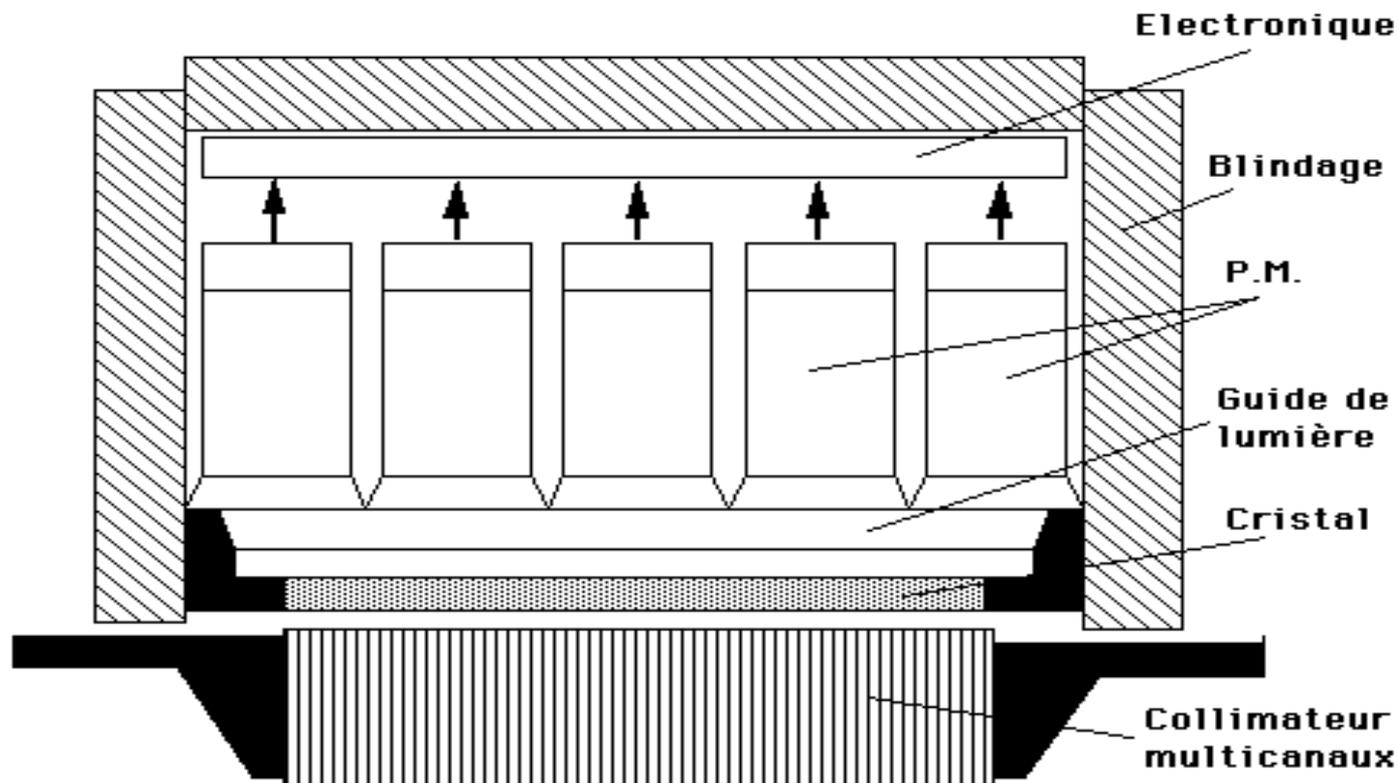
□ Le traitement d'inflammations de la membrane synoviale dans la polyarthrite chronique rhumatoïde à l'aide d'isotopes tels que l'erbium  $^{169}\text{Er}$  ou le rhénium  $^{186}\text{Rh}$

□ Le traitement des métastases osseuses douloureuses à l'aide d'isotopes tels que le samarium  $^{153}\text{Sm}$  ou le strontium  $^{89}\text{Sr}$ .

A la différence de **la Radiothérapie**, qui utilise des sources radioactives toujours séparées des tissus (les sources sont dites scellées), **la Médecine Nucléaire** utilise des substances radioactives en contact direct avec les tissus (sources non scellées).

# vue en coupe de la tête de détection d'une caméra à scintillation type Anger

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



## - Les images

- Les images actuelles sont directement obtenues sous formes numériques.
- Les formats varient de  $64 \times 64$  à  $256 \times 256$ .
- La valeur du **pixel** représente le **comptage** obtenu par le détecteur au point correspondant de l'image.
- Cette valeur est un renseignement **quantitatif** essentiel en théorie directement proportionnelle à la radioactivité réelle contenue dans l'organisme.

# Acquisition statique, corps entier et dynamique

- L'acquisition la plus simple est l'image "**statique**". Elle est réalisée avec un détecteur en position fixe par rapport au patient.
- Il permet d'obtenir une statistique de comptage satisfaisante, permettant d'avoir un bon contraste dans l'image
- Le temps d'acquisition est déterminé en fonction de l'activité injectée

- On peut aussi choisir d'obtenir un nombre déterminé de coups dans l'image (par exemple 400 à 600 kcp )

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Le cliché obtenu est représentatif de la distribution radioactive suivant une incidence (face ant., profil, oblique, etc...).
- Il est théoriquement possible de réaliser une distribution sur la totalité de l'organisme en acquérant une succession d'images statiques "jointives", de la tête aux pieds du patient

□ Certaines machines sont cependant équipées d'un **mode "corps entier"** qui permet par déplacement longitudinal de la tête de détection d'obtenir un **"balayage"** de part et d'autre du patient.

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ L'acquisition en continu du signal permet de reconstituer dans le même temps un cliché complet du patient. Ce mode d'acquisition est principalement utilisé pour **la scintigraphie osseuse**.

□ Il permet, en un temps très court (10 à 15 mn) d'obtenir une distribution du traceur radioactif sur l'ensemble du squelette.

- Ce mode d'acquisition est aussi utilisé dans les bilans d'extension des carcinomes thyroïdiens, www.ispits.net  
le balayage à l'Iode-131 étant l'examen de référence dans cette indication
- La scintigraphie permet aussi d'étudier des phénomènes transitoires, comme par exemple une phase vasculaire
- Il est possible en effet de programmer une acquisition "**dynamique**".

□ Il s'agit en fait d'une **série d'images** www.ispits.net  
**scintigraphiques statiques.**

□ Par exemple, dans l'étude de la **fonction rénale**, on place le détecteur en incidence de face postérieure, en regard de l'aire rénale et on déclenche, au moment de l'injection IV du traceur radioactif (par ex. DTPA-Tc99m), l'acquisition de 30 images de 2 secondes suivies de 90 images de 30 secondes chacune.

□ Ceci permet d'obtenir un **"film"** de la filtration et de l'excrétion rénale du traceur.

□ La séquence d'images pourra alors faire l'objet d'un traitement numérique, comme par exemple la détermination de courbes activité/temps à partir de régions d'intérêt rénales droite et gauche délimitées sur l'écran de l'ordinateur.

# Acquisitions tomoscintigraphiques

- Comme en scanner ou en IRM, ces acquisitions permettent de visualiser le corps humain en coupes.
- La technique consiste à faire une rotation de la tête (ou des têtes) d'une gamma caméra autour du patient sur 180 ou 360 degrés de manière à enregistrer les photons gamma issue d'un organe ou d'une structure anatomique.
- Les acquisitions sont ainsi faites sous 32 ou 64 incidences.

□ Les images obtenues sont traitées par ordinateur afin d'obtenir une série de coupes de l'organe exploré.

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ La scintigraphie myocardique. Ou cérébrale ne peut être envisagé à l'heure actuelle sans étude tomographique.

□ En outre, il ne faut pas hésiter de **compléter un examen du squelette par une tomoscintigraphie pour mieux explorer la colonne vertébrale.**



net

Scintigraphie osseuse au  $^{99m}\text{Tc}$ -HMDP



s.net

**Gamma camera**

# QUELQUES PROTOCOLES D'EXAMENS SCINTIGRAPHIQUE

## □ SCINTIGRAPHIE THYROÏDIENNE AU $99\text{mTc}$

### □ Indications :

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

### □ Exploration des nodules thyroïdiens

**Bilan d'hyperthyroïdie simple**

**Bilan de thyroïdite.**

### □ \* Préparation des patients

□ Arrêt du traitement par hormones thyroïdiennes 2 à 4 semaines avant l'examen (en fonction du type de traitement).

Les examens à base d'Iode (scanner, angiographie) seront réalisés après la scintigraphie (saturation thyroïdienne).

**Radiopharmaceutique et activité administrée :**

### □ \* Produit injecté :

□ Le radiotracteur injecté par voie IVD est du Technétium libre sous forme de pertechnétate. Il ne produit aucun effet indésirable.

□ \* **Dose injectée :**

□ **111 MBq (3 mCi).**

**Chez l'enfant la dose est adaptée au poids.**

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ **Réalisation de l'examen :**

□ L'examen est réalisé 20 à 30 minutes après injection intraveineuse de pertechnetate.

□ Le patient est placé sur la table d'examen, en décubitus dorsal, le cou en hyper extension.

□ La tête de la gamma caméra munie d'un collimateur pinhole (sténopéique) sera placé en face du cou. Le pic réglé sur 140 KeV.

□ Pratiquer une acquisition statique centrée sur loge thyroïdienne, matrice 128 x128. La durée de l'examen est environ 5 minutes.

□ **Des clichés complémentaires peuvent éventuellement être réalisés en OAD et/ou OAG pour préciser certains nodule**

□ **NB :** si IV impossible, administrer le  $^{99m}\text{Tc}$  par voie intramusculaire, mais doubler l'activité administrée.

# La scintigraphie thyroïdienne à l'Iode 123

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- **\* Indications :**

- Bilan des hyperthyroïdies
- Exploration des nodules thyroïdiens hypervascularisés au pertechnétate
- Exploration des goitres plongeants

- Recherche d'ectopie thyroïdienne

- Diagnostic des troubles de l'organification

- **\* Préparation des patients :**

- Arrêt du traitement par hormones thyroïdiennes 2 à 4 semaines avant l'examen (en fonction du type de traitement).
- Les examens à base d'Iode (scanner, angiographie) seront réalisés après la scintigraphie (saturation thyroïdienne).

- **\* Produit injecté :**

- Le radiotracer injecté par voie IV est de l'Iode 123. Il ne produit aucun effet indésirable (pas d'allergie à l'Iode).

- **\* Dose injectée :**

- 11,1 MBq (300 µCi).
- Chez l'enfant la dose est adaptée au poids.

- **\* Acquisition :**

- Le patient est en décubitus dorsal sur la table d'examen, en hyper-extension cervicale.
- Les images sont obtenues par un cliché centré de face au moyen d'un collimateur pinhole 2 h après l'injection du radiotracer.

- **\* Éléments techniques :**

- Collimateur pinhole ; photopic 159 KeV ; zoom 1,6 ; matrice 128 X 128 ; durée 10 mn.
- Des clichés complémentaires peuvent éventuellement être réalisés au moyen d'un collimateur grand champ pour préciser un goitre plongeant ou une ectopie.

- **\* Durée totale de l'examen :**

- 2 h 30 environ (2 heures d'attente entre l'injection et les images).

# La scintigraphie osseuses

www.ispits.net

## 1/ La scintigraphie osseuse corps entier

### \* Indications :

Affections tumorales primitives ou secondaires

Pathologie rhumatologique (polyarthrite, sacro-iliite,...)

Affections métaboliques (hyperparathyroïdie, Paget,...)

### \* Préparation du patient :

Pas de préparation avant l'injection.

Bonne hydratation entre l'injection et l'acquisition (1 litre d'eau à boire en 2 h).

### \* Produit injecté :

Le radiotracer injecté par voie IV est un dérivé Diphosphonate marqué au Technétium 99m HDP (Hydroxyméthylène Diphosphonate).

Le produit reste stable 4 à 6 h après préparation.

Il ne produit en général aucun effet indésirable.

Il a cependant été décrit de rares réactions allergiques survenant quelques heures après l'injection, avec sensation de malaise, céphalées, éruptions cutanées.

### \* Dose injectée :

740 MBq (20 mCi).

Chez l'enfant la dose est adaptée au poids.

### Contre-indications :

La scintigraphie osseuse est contre-indiquée chez la femme enceinte.

Si l'examen doit être réalisé durant l'allaitement, une suspension de 24 h est nécessaire.

Avant l'injection du radiotracer, l'interrogatoire doit systématiquement rechercher une éventuelle grossesse ou un allaitement.

### \* Acquisition :

Elle est réalisée 2 h environ après l'injection du radiotracer.

Le patient doit vider sa vessie avant les images.

L'acquisition, patient en décubitus dorsal sur la table d'examen, consiste en un balayage corps entier au moyen d'une caméra grand champ double tête. Des clichés complémentaires statiques sont parfois réalisés pour préciser certaines zones.

### \* Éléments techniques :

Balayage : collimateur LETHR ; photopic 140 KeV ; zoom 1 ; matrice 512 X 2048 ; vitesse de balayage 16 cm/mn.

Clichés statiques : zoom 1 ; matrice 256 X 256 ; 300 s ou 1000 Kcps.

### \* Durée totale de l'examen :

Environ 3 h (2 h d'attente entre l'injection et les images).

# 2/ La scintigraphie osseuse trois temps

www.ispits.net

- **\* Indications :**

- Affections vasculaires (ostéonécrose, algodystrophie,...)

- Traumatologie (fractures,...)

- Pathologie du sport (fracture de fatigue, périostite,...)

- Orthopédie (prothèses,...)

- Pathologie rhumatologique (arthrite,...)

- Pathologie infectieuse (ostéomyélite, ostéite,...)

- **\* Préparation du patient :**

- Pas de préparation avant l'injection.

- Bonne hydratation entre l'injection et l'acquisition (1 litre d'eau à boire en 2 h).

- **\* Produit injecté :**

- Le radiotracer injecté par voie IV est un dérivé Diphosphonate marqué au Technétium 99m HDP (Hydroxyméthylène Diphosphonate).

- Le produit reste stable 4 à 6 h après préparation.

- Il ne produit en général aucun effet indésirable.

- Il a cependant été décrit de rares réactions allergiques survenant quelques heures après l'injection, avec sensation de malaise, céphalées, éruptions cutanées.

- **\* Dose injectée :**

- 740 MBq (20 mCi).

- Chez l'enfant la dose est adaptée au poids.

- **Contre-indications :**

- La scintigraphie osseuse est contre-indiquée chez la femme enceinte.

- Si l'examen doit être réalisé durant l'allaitement, une suspension de 24 h est nécessaire.

- Avant l'injection du radiotracer, l'interrogatoire doit systématiquement rechercher une éventuelle grossesse ou un allaitement.

- **\* Acquisition :**

- Elle est réalisée 2 h environ après l'injection du radiotracer. Le patient doit vider sa vessie avant les images. L'acquisition, patient en décubitus dorsal sur la table d'examen, associe l'étude du temps vasculaire, du temps tissulaire et du temps osseux.

- **Le temps vasculaire** consiste en une analyse des 2 mn qui suivent l'injection du radiotracer. Cette injection se fait sous la caméra (injection au membre supérieur pour une analyse du membre inférieur et inversement pour l'étude de l'extrémité supérieure). L'acquisition du temps vasculaire est de type dynamique centrée sur la zone à étudier.

- **Le temps tissulaire** analyse la répartition du radiotracer au niveau de la zone pathologique par un cliché statique entre 3 et 5 mn après l'injection.

- **Le temps osseux** est étudié par des clichés statiques centrés sur la zone pathologique 2 h environ après l'injection.

- L'examen est toujours terminé par un balayage du corps entier pour rechercher une pathologie associée.

- **\* Eléments techniques :**

- - Temps vasculaire : collimateur LETHR ; photopic 140 KeV ; zoom 1 ; matrice 64 X 64 ; 60 images de 2 s.

- - Temps tissulaire : collimateur LETHR ; photopic 140 KeV ; zoom 1 ; matrice 256 X 256 ; durée 2 mn environ.

# 3/ La scintigraphie au Gallium 67

## □ \* Indications :

- Recherche de foyers infectieux, en particulier sur prothèses orthopédiques

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

## □ \* Préparation des patients :

- Il n'y a pas de préparation particulière avant l'examen. Un laxatif est parfois donné avant l'imagerie de la 24ème, de la 48ème h ou de la 72ème h.

## □ \* Produit injecté :

- Le radiotracteur injecté est du Gallium 67. Il ne produit pas de réaction indésirable après injection.

## □ \* Dose injectée :

- 185 MBq (5 mCi).
- Chez l'enfant la dose est adaptée au poids.

## □ \* Acquisition :

- Durant l'acquisition, le patient est allongé en décubitus dorsal sur la table d'examen. On réalise plusieurs images statiques. Le nombre d'images est fonction de la pathologie étudiée (entre 2 et 7 images).
- Pour la recherche de foyers infectieux, on réalise une imagerie à la 6ème h, à la 24ème h et parfois à la 48ème h après l'injection du radiotracteur.
- Dans le bilan de lymphomes, l'imagerie se pratique à la 48ème h, à la 72ème h, et parfois à la 96ème h.

## □ \* Eléments techniques :

- Collimateur moyenne énergie ; photopics 96, 184, 296 KeV ; zoom 1 ; matrice 256 X 256 ; images statiques de 600 s.
- \* **Durée totale de l'examen** : Entre 20 à 60 mn lors de chaque séquence d'imagerie.

# 4/ Les clichés pinhole osseux

www.ispits.net

- **\* Indications :**

- Etude précise de zones de petite taille et en particulier recherche d'ostéochondrite de hanche chez l'enfant.

- **\* Préparation du patient :**

Pas de préparation avant l'injection.

- Bonne hydratation entre l'injection et l'acquisition (1 litre d'eau à boire en 2 h).

- **\* Produit injecté :**

- Le radiotraceur injecté par voie IV est un dérivé Diphosphonate marqué au Technétium 99m HDP (Hydroxyméthylène Diphosphonate).

- Le produit reste stable 4 à 6 h après préparation.

- Il ne produit en général aucun effet indésirable.

- Il a cependant été décrit de rares réactions allergiques survenant quelques heures après l'injection, avec sensation de malaise, céphalées, éruptions cutanées.

- **\* Dose injectée :**

- 740 MBq (20 mCi). Chez l'enfant la dose est adaptée au poids.

- **Contre-indications :**

- La scintigraphie osseuse est contre-indiquée chez la femme enceinte.

- Si l'examen doit être réalisé durant l'allaitement, une suspension de 24 h est nécessaire.

- Avant l'injection du radiotraceur, l'interrogatoire doit systématiquement rechercher une éventuelle grossesse ou un allaitement.

- **\* Acquisition :**

- Les clichés pinhole sont réalisés 2 h environ après l'injection du radiotraceur. Le patient doit vider sa vessie avant les images. L'acquisition, patient en décubitus dorsal sur la table d'examen, consiste à réaliser des images statiques centrées sur la zone pathologique, puis la zone saine controlatérale au moyen d'un collimateur spécial (collimateur pinhole).

- Ils sont utilisés, au temps osseux (2ème h), pour étudier des zones pathologiques de petite taille (hanches chez l'enfant).

- Ces clichés sont toujours précédés de clichés statiques des deux membres étudiés ou d'une acquisition corps entier.

- **\* Éléments techniques :**

- Collimateur pinhole ; photopic 140 KeV ; Zoom 1 ; matrice 256 X 256 ; durée 600 s par images.

- **\* Durée totale de l'examen :**

- Environ 3 h (2 h d'attente entre l'injection et les images).

### 3/ La scintigraphie rénale au DMSA

- **\* Indications :**

- Evaluation de la fonction relative de chaque rein, en particulier dans les uropathies www.ispfls.net métrico-urétéral

#### Diagnostic des pyélonéphrites aiguës

- Recherche de cicatrices rénales (pyélonéphrites chroniques)

- **\* Préparation des patients :**

- Bonne hydratation du patient avant l'examen (faire boire 2 à 3 verres d'eau avant de venir dans le service).

- **\* Produit injecté :**

- Le DMSA marqué au Technétium 99m est injecté par voie IV dans une veine du pli du coude.

- Lorsqu'il est associé à la scintigraphie rénale au DTPA (ou au MAG 3), le radiotracer est injecté à la fin de l'examen directement dans la voie veineuse (s'il n'existe pas de stase pyélo-calicielle ou urétérale majeure).

- **\* Dose injectée :**

- 111 à 185 MBq (3 à 5 mCi).

- La dose doit être adaptée au poids chez l'enfant.

- **\* Acquisition :**

- Les images sont réalisées 6 h après l'injection du radiotracer. Il s'agit d'acquisitions statiques au nombre de quatre (OPD, OPG, faces antérieure et postérieure). On utilise une caméra grand champ. Le patient est en décubitus dorsal sur la table d'examen. Les nourrissons sont placés directement sur le collimateur de la caméra.

- **\* Éléments techniques :**

- Collimateur LEHR ; photopic 140 KeV ; zoom 1,6 ; matrice 128 X 128 ; 300 à 600 s/image).

- **\* Durée totale de l'examen :**

- Environ 7 h (délai de 6 heures entre l'injection et les images au cours duquel le patient est libre).

# La scintigraphie rénale

## □ 1/ La scintigraphie rénale au DTPA ou au MAG 3 avec ou sans test au Lasilix

### □ \* Indications :

www.ispits.net

Evaluation du caractère fonctionnel ou organique des anomalies de la jonction pyélo-calicielle ou vésico-urétérale.

### □ \* Préparation des patients :

□ Bonne hydratation du patient avant l'examen (faire boire 2 à 3 verres d'eau avant de venir dans le service).

### □ \* Produits administrés :

□ Le radiotracteur utilisé (DTPA ou MAG 3) est marqué au Technétium 99 m. Il est injecté sous la forme d'un bolus pulsé au moyen d'un cathéter mis en place, au plis du coude, avant l'examen. La voie veineuse est entretenue par une perfusion de sérum salé physiologique.

□ Le MAG 3 est préférentiellement utilisé lorsque la créatininémie est supérieure à 200  $\mu\text{Moles/l}$ . Le radiotracteur ne provoque aucun effet secondaire.

### □ \* Dose injectée :

□ DTPA ou MAG3 : 111 MBq (3 mCi). La dose adaptée au poids chez l'enfant.

### □ \* Acquisition :

□ Le patient est le plus souvent en décubitus dorsal sur la table d'examen. Il peut parfois être placé en position assise, la caméra plaquée contre son dos. L'acquisition est de type dynamique avec une caméra grand champ, centrée sur les aires rénales, les uretères et la vessie.

□ Une image statique tardive, après miction, doit être réalisée pour évaluer l'effet de la réplétion vésicale ou du décubitus sur une stase pyélocalicielle importante.

### □ \* Eléments techniques :

□ - acquisition dynamique : Collimateur LETHR ; photopic 140 KeV ; zoom 1 ; matrice 64 X 64 ; 60 images de 1 s, puis 90 images de 20 s.

□ - acquisition statique éventuelle : Collimateur LETHR ; photopic 140 KeV ; zoom 1 ; matrice 256 X 256 ; 3 à 5 mn.

□ \* **Durée totale de l'examen** : Environ 30 mn.

### □ \* Procédure particulière :

□ Un diurétique, le Furosémide (Lasilix®) est injecté à la 15ème mn s'il existe une stase au niveau des voies excrétrices (20 mg chez l'adulte ; 1 mg/Kg chez l'enfant avec un maximum de 20 mg).

□ Ce diurétique induit, quelques minutes après son administration, un besoin mictionnel pressant et peut provoquer des douleurs en rapport avec un obstacle organique important.

# La scintigraphie pulmonaire

www.ispits.net

## \* Indications :

- Recherche d'embolie pulmonaire

- Bilan d'opérabilité en pathologie pulmonaire (emphysème, cancers)

- Bilan de certaines malformations cardio-vasculaires (en pédiatrie)

- Recherche de shunt droit/gauche

- \* **Préparation des patients** : Pas de préparation particulière.

## \* Produits administrés :

- Pour l'étude de la ventilation le patient respire pendant 3 mn en circuit fermé (embout buccal et pince nasale, ou masque) un aérosol produit à partir de DTPA marqué au Technétium 99m et d'un flux d'oxygène pur.

- Ce premier temps est un peu désagréable surtout si le patient est très dyspnéique, mais ne provoque pas de réaction secondaire.

- Pour l'étude de la perfusion, on injecte par voie IV des microsphères d'albumine marquées au Technétium 99m. Les réactions allergiques sont exceptionnelles.

## \* Dose administrée :

- En ventilation : 1110 (30 mCi) dans l'aérosol.

- En perfusion : 370 MBq (10 mCi).

## \* Acquisition :

- Le patient est en décubitus dorsal sur la table d'examen.

- Une fois l'aérosol respiré, six clichés statiques sont réalisés pour l'étude de la ventilation

- Immédiatement après les microsphères marquées sont injectées. Pour l'étude de la perfusion, les mêmes clichés statiques sont réalisés.

- \* **Éléments techniques** : Collimateur LEHR ; photopic 140 KeV ; zoom 1 ; matrice 256 X 256

- \* **Durée totale de l'examen** : Entre 30 et 45 mn.

## 2/ La scintigraphie hépato-biliaire

- **\* Indications :**

- Diagnostic des cholécystites aiguës. Evaluation de la perméabilité de la voie biliaire principale

www.ispits.net

- **\* Préparation des patients :**

- Le patient doit être à jeun depuis 12 h.

- **\* Produit injecté :**

- Le produit administré est la Mébrofénine marquée au Technétium 99m. Il s'agit d'un traceur capté et concentré par l'hépatocyte, puis éliminé par voie biliaire.

- **\* Dose injecté :**

- 111 à 185 MBq (3 à 5 mCi). La dose doit être adaptée au poids chez l'enfant.

- **\* Acquisition :**

- Le patient est placé en décubitus dorsal sur la table d'examen. L'acquisition est de type dynamique avec une caméra grand champ centrée sur l'étage thoraco-abdominal en face antérieure.

- **\* Eléments techniques :**

- Collimateur grand champ LETHR ; photopic 140 KeV ; zoom 1 ; matrice 128 X 128 ; 60 images de 60 s (1 heure). Une image statique de 60 s est souvent réalisée à 120 mn avec les mêmes caractéristiques.

- **\* Durée totale de l'examen :**

- Entre 1 h et 2 h.

- **\* Procédures particulières :**

- Prise d'un repas gras (Boyden) à la 30ème mn pour provoquer une vidange vésiculaire. Injection sous-cutanée de Morphine à la 30ème mn à la dose de 0,04 mg/Kg (Maximum 2 mg) pour provoquer une contraction du sphincter d'Oddi.

# La scintigraphie cardiaque

www.ispits.net

## □ 3/ La ventriculographie isotopique

### □ \* Indications :

□ Etude de la fonction ventriculaire gauche au repos et à l'effort

### Evaluation du pronostic des cardiopathies

□ Evaluation des conséquences myocardiques des chimiothérapies cardiotoxiques

□ Evaluation de la tolérance des cardiopathies valvulaires (IAo)

□ Evaluation des cardiopathies congénitales

### □ \* Préparation des patients :

□ Aucune préparation n'est nécessaire pour l'étude au repos.

□ L'évaluation à l'effort peut nécessiter l'arrêt de certains traitements cardiologiques (en fonction de l'indication de l'examen).

### □ \* Produit injecté :

□ Nous utilisons l'albumine marquée au Technétium 99m. Il n'y a pas de réaction lors de l'injection du traceur. Celui-ci peut-être injecté par voie IVD (en particulier pour évaluer l'effet des chimiothérapies). Il est le plus souvent injecté au moyen d'une voie veineuse entretenue par une perfusion de sérum salé physiologique. Cette voie veineuse peut-être mise en place dans une veine de bon calibre, en particulier au pli du coude. Elle doit impérativement être mise en place dans une veine jugulaire externe si l'on veut réaliser une étude au premier passage de qualité.

□ \* **Dose injectée** : 1110 MBq (30 mCi).

### □ \* Acquisition :

□ Pour l'étude au repos, le patient est en décubitus dorsal sur la table d'examen. Le produit est injecté avant l'acquisition (étude à l'équilibre) ou sous la caméra (étude au premier passage). L'examen débute par une étude dynamique pour le premier passage (si nécessaire), puis se poursuit par 3 images statiques.

### □ \* Eléments techniques :

□ - Premier passage : Collimateur LEHR ; photopic 140 KeV ; acquisition mode rapide en mode liste ; matrice 64 X 64 ; zoom 1,6 ; 500 cps/s ; durée 60 s ou 5000 Kcps ; en OAD ou face antérieure ;

□ - Equilibre : Collimateur LEHR ; photopic 140 KeV ; mode synchronisé ; matrice 64 X 64 ; zoom 1,6 ; 16 images/cycle ; durée 420 s ou 250 Kcps en OAG et 300 s en OAD et OPG ou profil gauche ;

□ - Effort : Collimateur LEHR ; photopic 140 KeV ; mode synchronisé ; matrice 64 X 64 ; zoom 1,6 ; 16 images/cycle ; durée 300 s en OAG.

### □ \* Durée totale de l'examen :

□ Environ 30 mn pour l'étude au repos et entre 1 h 30 et 2 h pour l'étude à l'effort.

### □ \* Procédure particulière :

□ Pour l'étude à l'effort le patient est installé en position demi-assise, sur une table ergométrique munie d'un pédalier. On réalise d'abord une étude au repos, puis une acquisition statique de 3 mn à chaque palier de l'effort et en récupération précoce.

# 2/ La scintigraphie myocardique aux dérivés technétiés

www.ispits.net

## \* Indications :

Recherche d'ischémie myocardique

Evaluation des sténoses coronaires

Indication des gestes de revascularisation

Evaluation du pronostic des cardiopathies ischémiques

## \* Préparation des patients :

Les patients ne doivent pas être à jeun. Cependant, ils ne doivent pas prendre de thé, de café, ni de chocolat le matin de l'examen.

Les médicaments anti-ischémiques ou anti-hypertensives seront suspendus en fonction de l'indication de l'examen. La durée d'arrêt du traitement dépend de la demi-vie du produit (entre 12 h et 72 h en général).

Le Dipyridamole sera également stoppé 48 h avant l'examen.

## \* Produits injectés :

Une voie veineuse, entretenue par une perfusion de sérum salé isotonique, est systématiquement mise en place avant l'épreuve d'effort ou le test pharmacologique, pour permettre l'injection des différents produits utilisés durant l'examen.

Le Sestamibi (Cardiolite®) ou la Tétrofosmine (Myoview®) sont des produits marqués au Technétium 99m. Ces dérivés technétiés sont des radiotraceurs couramment utilisés en Cardiologie Nucléaire. Ils ne provoquent aucun effet secondaire. Parfois les patients décrivent un goût métallique dans la bouche au moment de l'injection.

## \* Dose injectée :

Au repos : 370 MBq (10 mCi).

Après stress : 1110 MBq (30 mCi).

## \* Acquisition :

L'acquisition se fait en deux séquences distinctes. La première acquisition est faite au repos, 30 à 60 mn après une première injection de radiotraceur. La deuxième acquisition est faite environ 30 à 60 mn après le stress. Entre les deux séquences d'acquisition il doit s'écouler idéalement 3 à 4 heures.

L'acquisition à l'effort et l'acquisition au repos se déroulent de la même manière. Le patient est le plus souvent en décubitus ventral sur la table d'examen, les membres supérieurs repliés au-delà de la tête. La caméra réalise 32 images statiques de courte durée en tournant autour du patient. Cette acquisition permet une étude tomographique du cœur.

## \* Eléments techniques :

Collimateur LEHR ; photopic 140 KeV ; zoom 1 ; matrice 64 X 64 ; 32 pas de 25 s à l'effort et de 30 s au repos ; sur 180°.

\* **Durée totale de l'examen** : Entre 4 et 5 h (le repos est réalisé avant l'effort).

## \* Procédures particulières :

Un test de provocation de l'ischémie est réalisé pour toutes les études nécessitant un stress myocardique. Il consiste en un effort (tapis roulant ou cyclo-ergomètre) ou en un test pharmacologique (Dipyridamole ou Dobutamine).

Les techniques de stress peuvent être responsables d'effets indésirables. Le Dipyridamole peut provoquer des céphalées, une sensation de chaleur modérée, et parfois des nausées. La Dobutamine est responsable de palpitations désagréables.

Quelle que soit la méthode de stress utilisée, il peut survenir des effets secondaires tels des douleurs angineuses, des troubles du rythme ou de la conduction, et des chutes tensionnelles. C'est la raison pour laquelle ces tests sont réalisés en milieu médicalisé avec un matériel de réanimation à portée de main.

# 1 / La scintigraphie myocardique au Thallium

www.ispits.net

- **\* Indications :**
- Recherche d'ischémie myocardique
- Evaluation des sténoses coronaires
- Indication des gestes de revascularisation
- Evaluation du pronostic des cardiopathies ischémiques
- Recherche de la viabilité myocardique
- **\* Préparation des patients :**
- Les patients ne doivent pas être à jeun. Cependant, ils ne doivent pas prendre de thé, de café, ni de chocolat le matin de l'examen.
- Les médicaments anti-ischémiques ou anti-hypertensives seront suspendus en fonction de l'indication de l'examen. La durée d'arrêt du traitement dépend de la demi-vie du produit (entre 12 h et 72 h en général).
- Le Dipyridamole sera également stoppé 48 h avant l'examen.
- **\* Produit injecté :**
- Une voie veineuse, entretenue par une perfusion de sérum salé isotonique, est systématiquement mise en place avant l'épreuve d'effort ou le test pharmacologique. Elle sert à injecter tous les produits utilisés lors de l'épreuve.
- Le Thallium 201 est le radiotracteur dont on se sert le plus en Cardiologie Nucléaire. Il ne provoque aucun effet secondaire.
- **\* Dose injectée :**
- Après stress : 1,85 MBq/Kg (0,05 mCi/Kg).
- Réinjection pour la redistribution : 37 MBq (1 mCi).
- Thallium repos : 111 MBq (3 mCi).
- **\* Acquisition :**
- L'acquisition se fait en deux séquences, l'une juste après le stress, l'autre 4 h après en redistribution. Lors de chaque acquisition, le patient est le plus souvent en décubitus ventral, les membres supérieurs repliés au-delà de la tête.
- L'acquisition à l'effort et l'acquisition au repos se déroulent de la même manière. La caméra réalise 32 images statiques de courte durée en tournant autour du patient. Cette acquisition permet une étude tomographique du cœur.
- **\* Éléments techniques :**
- Collimateur LEHR, photopics 75, 135, et 165 KeV ; zoom 1 ; matrice 64 X 64 ; 32 pas de 40 s à l'effort et au repos ; sur 180°.
- **\* Durée totale de l'examen :**
- Environ 5 h (4 h d'attente entre l'effort et la redistribution au cours desquelles le patient est libre).
- **\* Procédures particulières :**
- Un test de provocation de l'ischémie est réalisé pour toutes les études nécessitant un stress myocardique. Il consiste en un effort (tapis roulant ou cyclo-ergomètre) ou en un test pharmacologique (Dipyridamole ou Dobutamine).
- Les techniques de stress peuvent être responsables d'effets indésirables. Le Dipyridamole peut provoquer des céphalées, une sensation de chaleur modérée, et parfois des nausées. La Dobutamine est responsable de palpitations désagréables.
- Quelle que soit la méthode de stress utilisée, il peut survenir des effets secondaires tels des douleurs angineuses, des troubles du rythme ou de la conduction, et des chutes tensionnelles. C'est la raison pour laquelle ces tests sont réalisés en milieu médicalisé avec un matériel de réanimation à portée de main.
- La recherche de viabilité myocardique associe deux acquisitions de repos, l'une 30 mn, l'autre 4 h après l'injection du radiotracteur.

# LES ACTES DU TECHNICIEN D'IMAGERIE EN MEDECINE NUCLEAIRE

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

Ils seront abordés selon leur suite chronologique, depuis l'accueil du patient jusqu'à la gestion des déchets radioactifs.

## □ A. L'ACCUEIL DU PATIENT :

- Ce premier contact servira à informer le patient de façon sommaire sur les préparations éventuelles, sur le déroulement de l'examen et sur le temps minimum pour sa réalisation

## Le jour de l'examen et avant celui ci :

### □ **Le technicien doit :**

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Vérifier l'identité du patient
- Identifier l'examen demandé et le service demandeur
- Vérifier le rendez-vous de l'examen ainsi que les formalités administratives.
- Rappeler aux patients l'absence quasi totale de réaction allergique, lors de l'injection de produits radioactifs.

- ▣ S'informer auprès des femmes en âge de procréer de l'éventualité d'une grossesse. Les mères qui allaitent www.ispits.net devraient également en aviser le personnel avant de subir un examen en médecine nucléaire (un examen ou un traitement à l'iode 131 interdit définitivement l'allaitement au sein. Ce dernier sera arrêté pendant 24H en cas d'exploration au  $^{99m}\text{Tc}$ )
- ▣ NB : le patient peut manger et boire avant l'examen scintigraphique. Habituellement, il n'aura pas à se déshabiller, sauf qu'il devra enlever d'éventuels collier, ceinturons et autres objets métalliques (pièces de monnaie lors d'une scintigraphie osseuse par exemple).

## B- DANS LE LABORATOIRE CHAUD :

### □ Préparation du produit à injecter selon l'examen

La préparation s'effectue au laboratoire chaud. Les différentes opérations qui précèdent l'administration des traceurs radioactifs à savoir l'éluion du générateur, la répartition des « doses » et le marquage de molécules vectrices s'effectuent dans une enceinte qu'on appelle **boite à gants** ou, plus communément, **sorbonne** .

□ En plus de son rôle dans la protection contre l'exposition externe, la boite à gants, mise sous pression négative par un système d'aspiration, permet d'éviter toute dissémination de matière radioactive vers les milieux ambiants.

- Elution du générateur :
- Le générateur le plus répandu et le plus utilisé est le générateur molybdène/ technétium. [www.ispits.net](http://www.ispits.net)
- Dans ce cas, l'éluion consiste à retirer du générateur le technécium<sup>99</sup> métastable produit par la désintégration du molybdène à l'aide d'un flacon sous vide.
- Ce dernier doit être placé dans une protection plombée pour diminuer l'irradiation des extrémités
- L'éluat sera ensuite mesuré à l'aide d'un activimètre et dilué pour être réparti selon les différents examens programmés

□ Le marquage des molécules vectrices :

□ Le  $^{99m}\text{Tc}$  est couplé dans un flacon à un marqueur www.ispits.net

spécifique en fonction d'examen réalisé, le flacon sera remué pendant quelques minutes grâce à un agitateur.

□ Remarque :

□ Tous ces actes doivent être effectués avec grande habileté et une extrême rapidité en vue d'éviter une irradiation inutile des mains.

- Transport des préparations du labo chaud à la salle d'injection.

www.ispits.net

- Une fois la préparation terminée, le flacon **protégé par un conteneur plombé** sera remis à l'infirmière dans la salle d'injection. **Le technicien** doit mentionner à cette dernière l'activité à administrer au patient selon le type d'examen prévu.

## C- DANS LA SALLE D'INJECTION

- Dans la salle d'injection, l'infirmière administrera le produit radioactif au patient. www.ispits.net
- La voie d'administration est en général la voie intraveineuse, mais elle peut être orale pour le balayage à l'iode 131 ou respiratoire pour la scintigraphie pulmonaire de ventilation.
- Dans tous les cas, l'administration doit se faire dans le respect des normes d'asepsie et de radioprotection. A cet effet, la seringue stérile doit être placée dans un protège seringue.
- Après usage, tout matériel contaminé (seringue, coton, gant...etc.) sera jeté dans un sac en plastique disposé dans une poubelle plombée.

## D- ENTRE L'INJECTION ET L'EXAMEN

- Le patient est placé dans la salle d'attente réservée www.ispits.net patients injectés, le temps nécessaire pour une fixation optimale des traceurs sur les tissus cibles.
  
- NB : le patient devient lui même une **source d'irradiation mobile**. C'est pourquoi il faut gérer les horaires des rendez-vous et de réalisation des examens scintigraphiques de façon à ne pas trop encombrer la salle d'attente et le service par des patients injectés.

## E- DANS LA SALLE DE GAMMA CAMERA.

www.ispits.net

- Dans la salle de gamma caméra et avant la réalisation de l'examen scintigraphique, le technicien d'imagerie placera le collimateur adapté au type d'examen et à l'énergie du radio-isotope utilisé. Puis il mettra le détecteur (la tête de la gamma camera) devant l'organe ou la structure anatomique à explorer et surtout le plus près de cette dernière pour ne pas dégrader la résolution de l'image.
- Sur la console des commandes seront indiqués les noms et prénoms du malade ainsi que les paramètres de l'acquisition à réaliser.

# ET LES DECHETS RADIOACTIFS ?

## LES DECHETS SOLIDES :

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

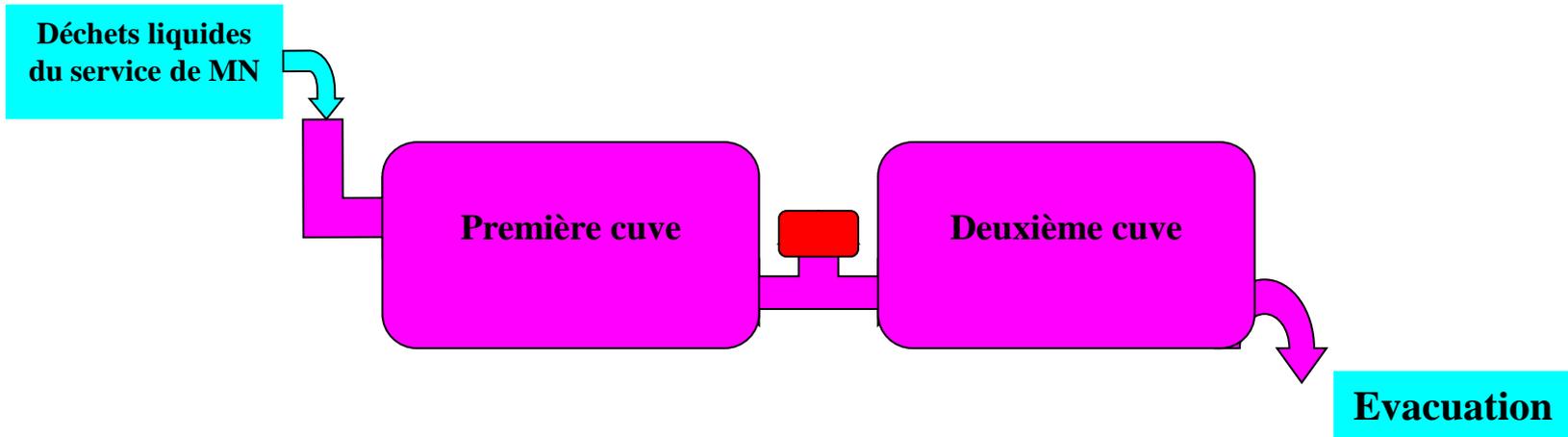
- Les seringues, flacons, cotons, compresses et gants contaminés par des produits radioactifs sont jetés dans des sacs disposés dans des poubelles plombées.
- Les générateurs radio-isotopiques ainsi que les sacs sus-cités sont entreposés après étiquetage dans un local réservé à cet effet. **(mentionner obligatoirement l'isotope et sa date de livraison sur l'emballage)**

□

# LES DECHETS LIQUIDES

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- Ces déchets sont recueillis dans une première cuve pendant au moins **dix fois la période radioactive**. Puis le contenu de la première cuve est déversé dans une seconde où il séjournera **encore dix fois la période** avant d'être évacué, sans danger sanitaire, dans le réseau d'assainissement urbain (les deux cuves sont disposées en série).



# Tomographie par émission de positons

- C'est une technique d'imagerie associant un scanner TDM avec une **Gamma camera** permettant la réalisation en un seul temps d'images **statique** et **fonctionnelle** le traceur radioactif actuel est le **18 FDG, 18 fluoro-déoxy-glucose**.



- Les 3 champs principaux d'applications cliniques du TEP sont aujourd'hui par ordre d'importance :

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

- **La CANCEROLOGIE:**

- Diagnostic, Caractérisation de tumeurs
- Bilans avant et après traitement
- Surveillance, Evaluation d'efficacité thérapeutique

- Maladie coronarienne
- Cardiomyopathie dilatée
- Hypertrophie ventriculaire gauche primitive ou secondaire

# □ La NEUROLOGIE-PSYCHIATRIE

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

□ Maladie d'Alzheimer et autres démences

□ Maladie de Parkinson

□ Epilepsie

□ Pathologies vasculaires cérébrales

[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)



[www.ispits.net](http://www.ispits.net)

