

Bases physiques de l'imagerie en Médecine Nucléaire (MN)

Pr. Malika ÇAOUI

***Service de Médecine Nucléaire CHU International Cheikh Zaid
Faculté de Médecine et de Pharmacie - Rabat-***

Objectifs du cours des bases d'imagerie en MN

- **Définir le principe de l'imagerie en médecine nucléaire**
- **Définir la composition, le rôle et les contraintes liées au radiotraceur**
- **Énumérer les différentes modalités de l'image scintigraphique**
- **Identifier les différents appareils : SPECT ; SPECT-CT ; TEP-TDM**
- **Différencier les caractéristiques globales de l'imagerie radiologique de l'imagerie en médecine nucléaire.**

L'imagerie médicale

- **L'imagerie utilisant des rayonnements ionisants (RI)**
 - RX en radiologie: imagerie par atténuation: radiographie conventionnelle, amplificateur de luminance, scanner (TDM ou CT),
 - $R\gamma$ (gamma) en médecine nucléaire: imagerie par émission: scintigraphie
- Imagerie n'utilisant pas de RI:
 - US en échographie et écho-doppler
 - IRM : champ magnétique qui fait vibrer les protons de l'hydrogène

Quelques dates

- **Radioactivité: découverte en 1896 par Becquerel, qui travaillait sur le RX, que Röntgen avait découvert par hasard en 1895.**
- **Il observa des sels d'uranium qui impressionnaient à l'obscurité une plaque photographique. Il en conclut : l'uranium émettait un rayonnement**
- **Pierre et Marie Curie: Poursuivirent ensemble les travaux sur la radioactivité naturelle découverte en 1896 par Henri Becquerel, à partir d'un sel d'uranium**
- **En 1898 Ils appelèrent ce phénomène Radioactivité**
- **1910-1925: Augmentation de fréquence de décès par leucémie chez radiologues**
- **1928: Constitution de la CIPR « Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements »**
- **Janvier 1941: 1^{ère} dose d'iode* 131 administrée pour traiter maladie de Basedow**

Principe de l'imagerie en MN +++

- On administre au patient un radiotracteur émetteur de $R\gamma$ par voie intraveineuse (IV) le plus souvent, par voie orale (Iode 131) ou par inhalation (gaz*)
- Le patient placé sous gamma caméra, **émet** des $R\gamma$ qui interagissent avec le cristal du détecteur: une **image par émission est** obtenue appelée: **Scintigraphie**
- La scintigraphie **détermine la distribution du radiotracteur** introduit dans l'organisme et véhiculé par le sang au sein d'un organe, ou d'une structure particulière de l'organisme...

Traceur et marqueur+++

Traceur (ou vecteur):

- **Composition** : préparation de structures organiques caractéristiques d'une fonction physiologique ou métabolique.
- **Rôle du Traceur** : acheminer le marqueur vers l'organe à explorer.

Marqueur (isotope radioactif) :

- **Composé radioactif** émetteur γ , trois groupes:
 - γ pur: Tc99m ($T_p=6h$) ou β^- -et γ : Iode 131: seul γ est détecté ($T_p=8j$)
 - β^+ : émet 2 $R\gamma$ détectés par TEP: FDG-F18 ($T_p=110mn$: vie courte)
- **Rôle du marqueur** : il émet des $R\gamma$ susceptibles de détection
 - Il est utilisé seul (Iode 131 ou 123, Tl 201...)
 - Il sert à marquer un traceur: MAG3-Tc99m (Rein), MDP-Tc99m (os)....

Radiopharmaceutique (RP) ou Radiotracteur +++

- Le radiotracteur ou (RP) est un médicament utilisé en MN pour porter en général un diagnostic ou traiter. Il est composé:
- Un RP ↓ = **Radionucléide** ↓ + **Molécule froide** ↓
- Radiotracteur **Marqueur γ (Isotope*)** + **Traceur (Vecteur)** ↓
- Le radiotracteur est obtenu dans une enceinte blindée et ventilée par marquage du **Traceur** + **Marqueur** (γ): molécule marquée
- Le marquage doit s'effectuer dans des conditions rigoureuses de respect des consignes d'hygiène (asepsie) et des règles de radioprotection (contamination).

Contraintes liées au Radiotraceur+++

Le radiotraceur doit répondre à des critères physiques:

- ❑ Détectable (émetteur γ) et non nocif pour le patient
- ❑ Période effective: $T_e = T_p \cdot T_b / (T_p + T_b)$: temps à l'issue duquel la moitié du radiotraceur est éliminée de l'organisme. T_e doit être:
 - courte pour éviter des irradiations nocives (radioprotection)
 - mais suffisamment longue pour permettre une détection efficace

Le radiotraceur doit répondre à des critères chimiques : Il doit être:

- ❖ de liaison stable et forte, pour être délivré au tissu cible et ne pas perturber le phénomène étudié.
- ❖ incorporé à sa cible une fois rencontrée
- ❖ sinon être rapidement éliminé

Procédures en médecine nucléaire ++

-  Le radiotraceur prêt à l'emploi est administré au patient.
-  Le patient est isolé dans une salle d'attente protégée prévue à cet effet et reçoit des consignes de radioprotection.
-  Une acquisition est réalisée à l'aide d'une gamma caméra de type:
 - SPECT (Single Photon Emission Tomography) ou TEMP en français (Tomographie par Émission Monophotonique) à une, 2, ou 3 têtes.
 - PET (Positron Emission Tomography) ou TEP (Émission de Positons)
-  La scintigraphie est réalisée selon différents types d'acquisition:

Modalités d'acquisition en MN++

- Différentes modalités d'acquisitions scintigraphiques:
 1. Acquisition statique avec un détecteur en position fixe par rapport au patient : scintigraphies de la thyroïde, des reins....
 2. Acquisition du corps entier: succession d'images statiques et jointives: les détecteurs se déplacent simultanément et balayent le corps du patient de la tête aux pieds. Ex: Scintigraphie osseuse
 3. Acquisition tomographique: La Tomographie par Émission de Simple Photon (*TEMP ou SPECT*) : les détecteurs tournent autour du patient, on obtient une représentation numérique en 3D d'une distribution radioactive au niveau du corps: thorax, bassin, crâne...

4. Acquisition dynamique en fonction du temps: une série d'images statiques successives permettant d'étudier la distribution du RP en phase vasculaire. Faible durée d'acquisition par image d'où peu d'informations . L'image est de faible résolution.

Ex: - Phases vasculaires des scintigraphies: rénale et osseuse :
- Scintigraphie des cavités cardiaques....

5. Acquisition synchronisée à l'ECG : tomo-scintigraphie du myocarde les détecteurs disposés en « L » enregistrent simultanément la radioactivité issue du myocarde et l'activité électrique du cœur : c'est une acquisition synchrone aux battements cardiaques qui sont enregistrés par ECG.

Procédures en médecine nucléaire



sorbonne au Laboratoire « chaud »



Générateur du Tc99m



Hotte de préparation des RP



Elution et obtention du Tc99M



Préparation du RP



Activimètre: mesure
l'activité (en Bq ou Ci)

Procédures en médecine nucléaire (suite)



Injection du RP au patient



Gamma-Caméra SPECT à deux

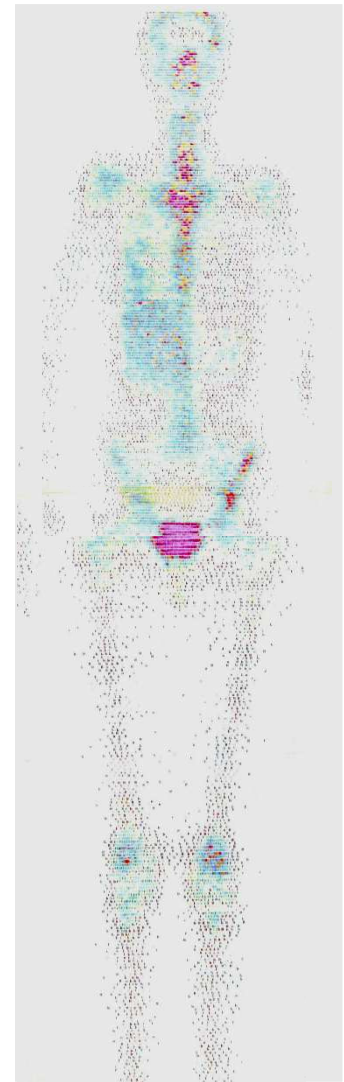


02/12/2010
Poste d'acquisition et de surveillance

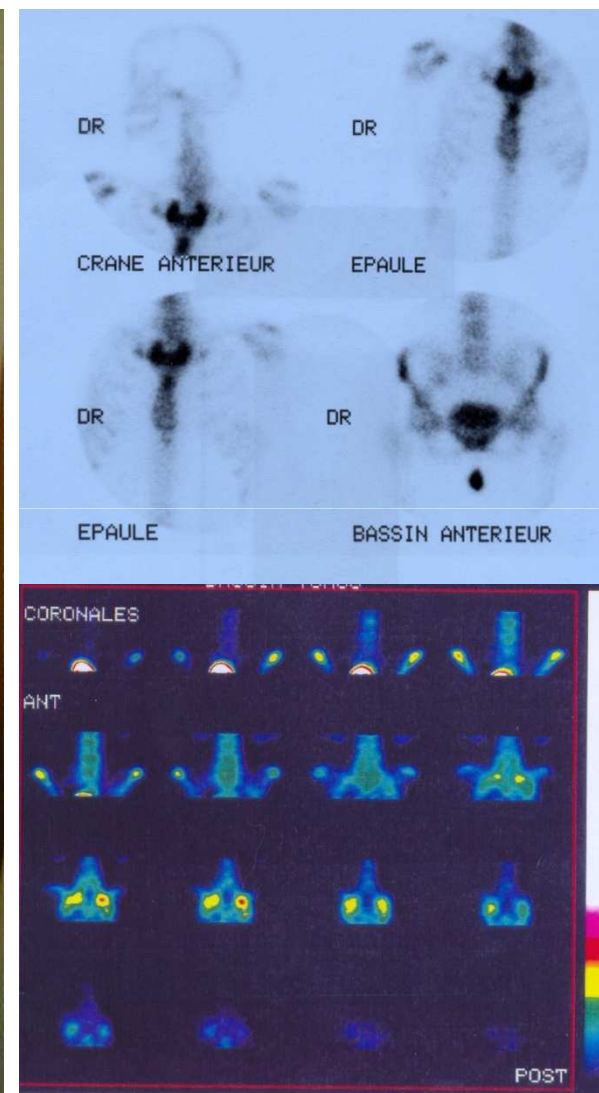
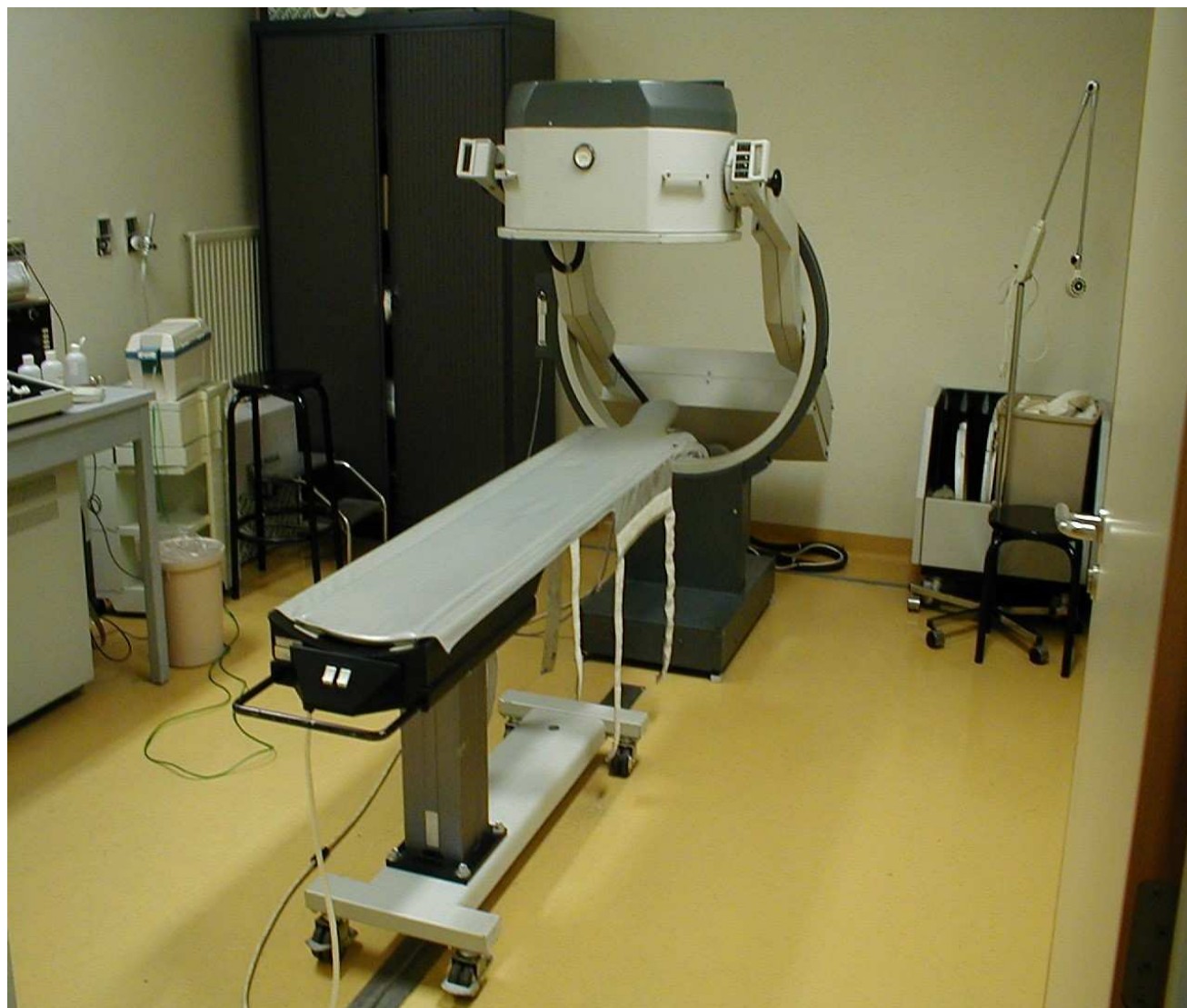


Scintigraphie osseuse

Scintigraphie à Balayage (1960)



Gamma Caméra (années 80)

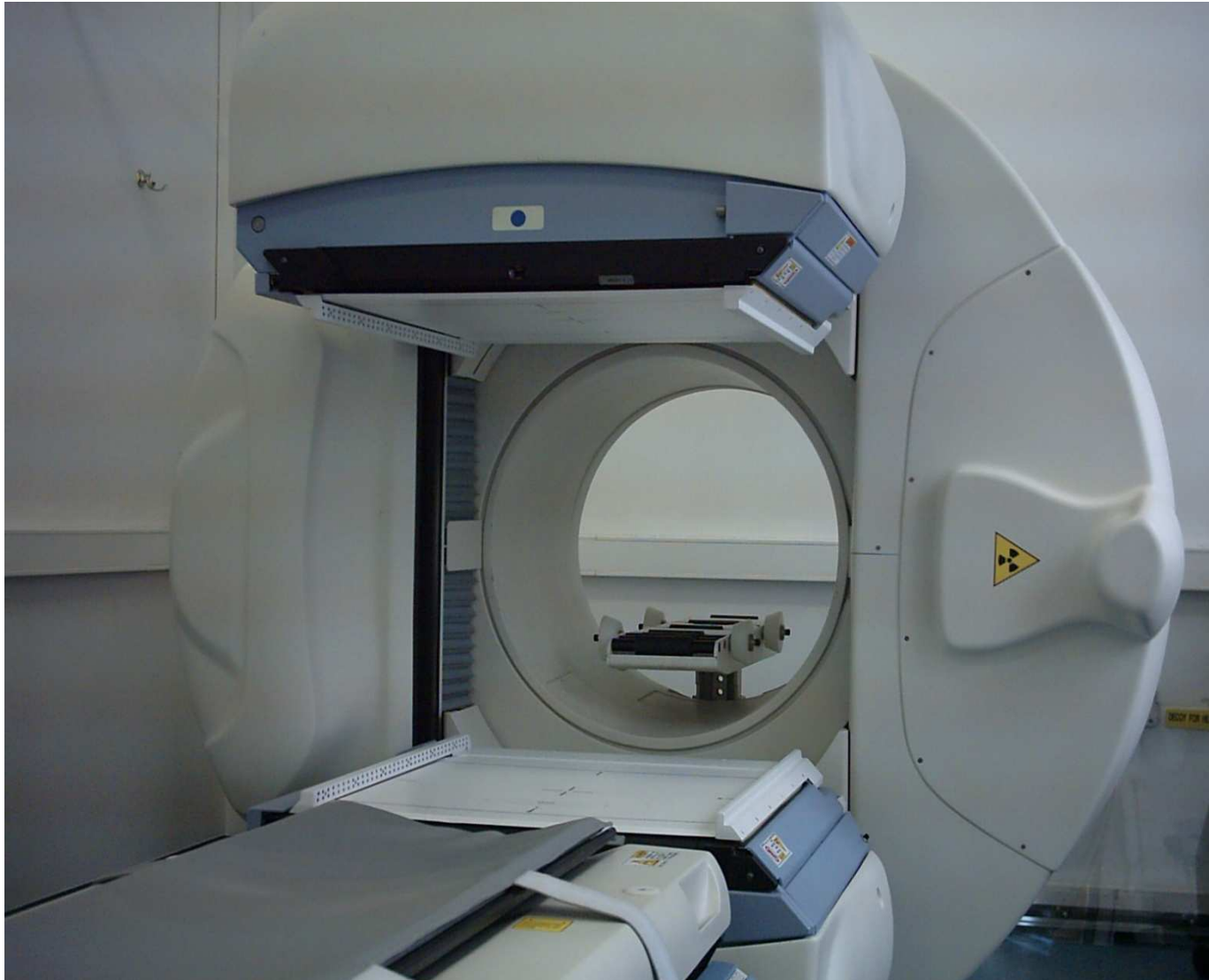


Les nouvelles machines

Gamma caméra SPECT simple tête



SPECT à double tête



02/12/2010

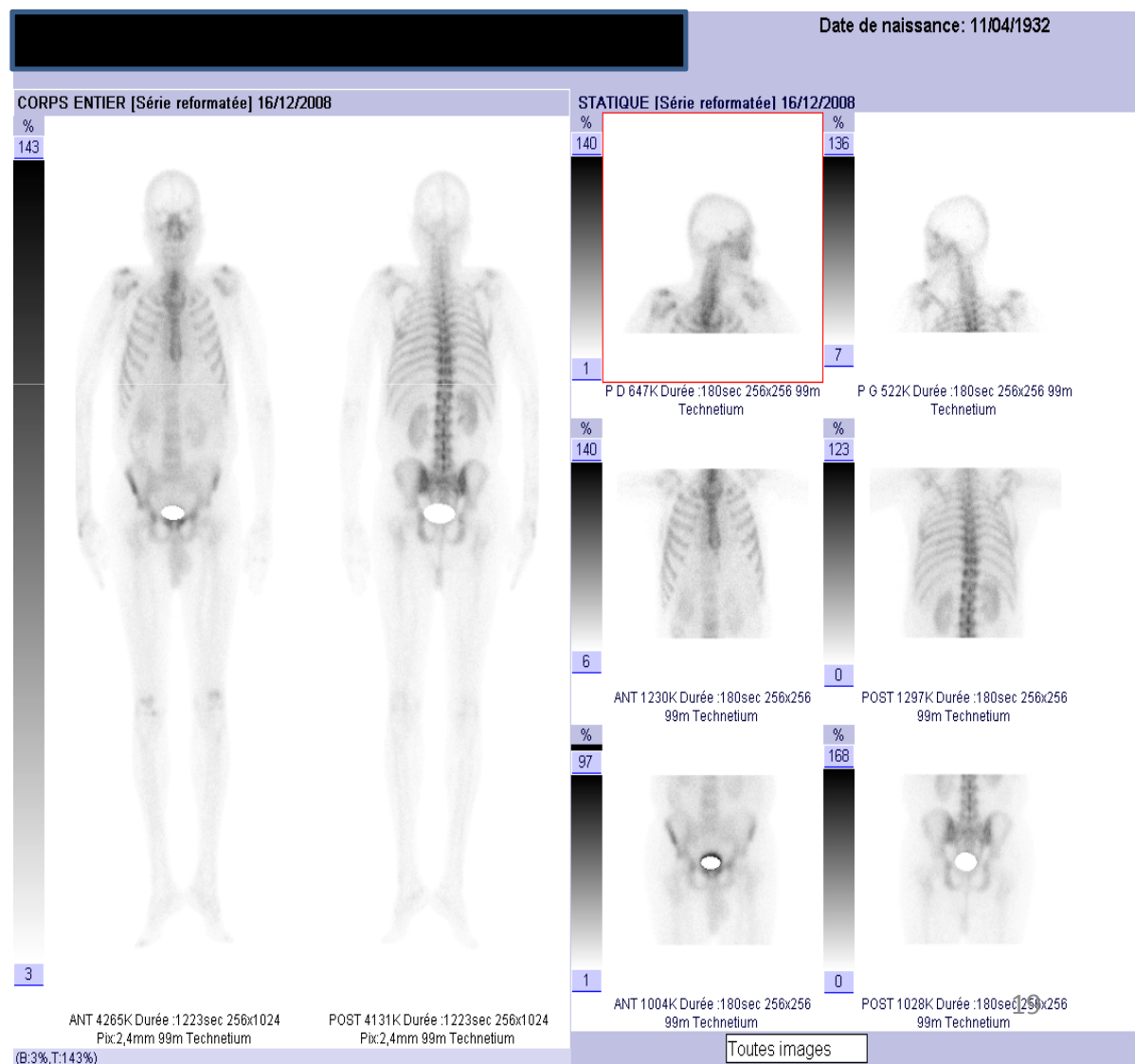
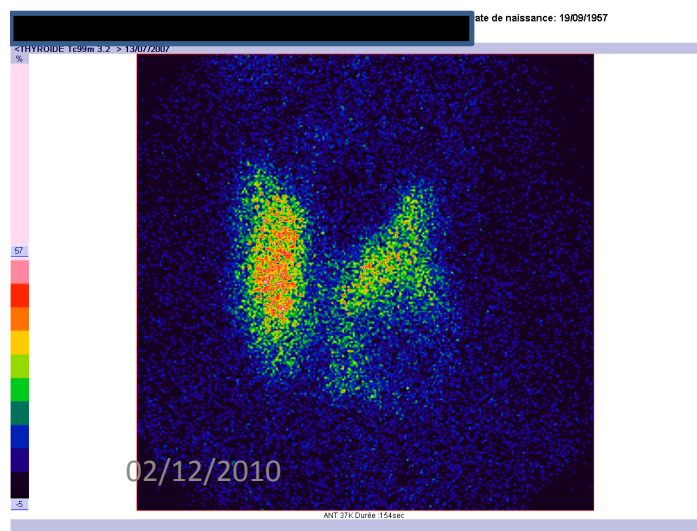


18

Scintigraphies statiques

Scintigraphie osseuse

Scintigraphie de la thyroïde

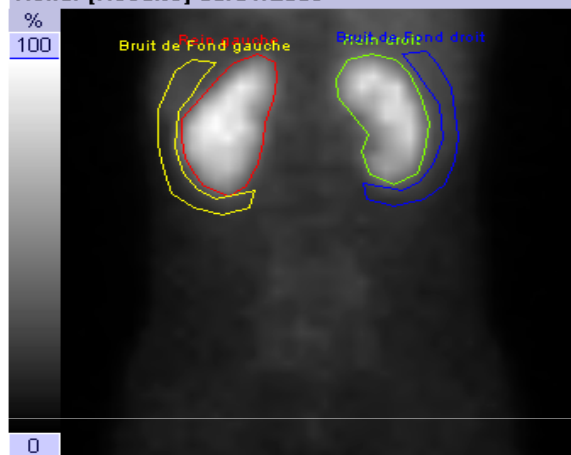


Scintigraphie rénale: études dynamique et statique

Date de naissance: 25/05/1997

Numéro d'ordre:

Renal [Results] 05/01/2009



Rein gauche
Rein droit
Bruit de Fond...
Bruit de Fond...

Rein

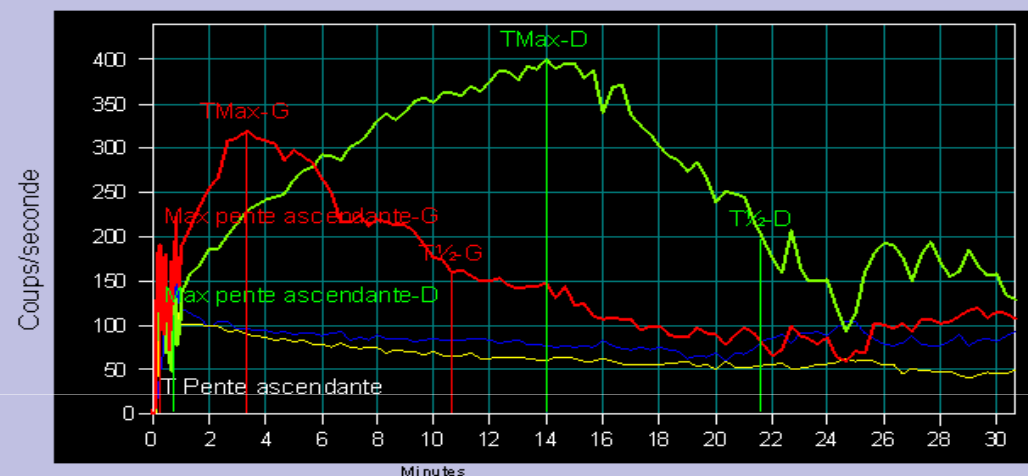
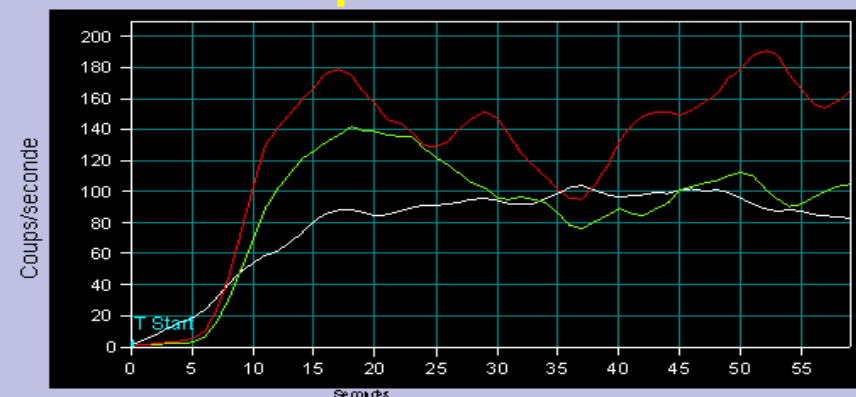


Tableau sommaire des résultats

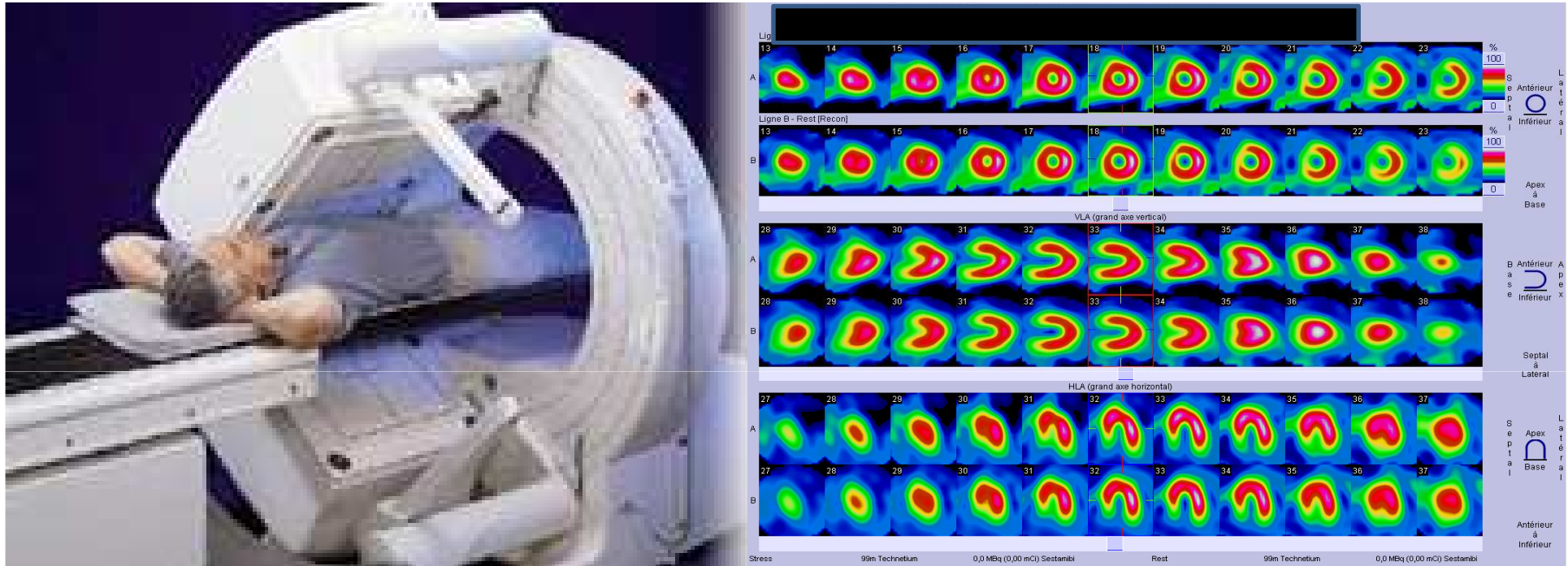
Paramètres	Gauche	Droite	Total
Fonction séparée (%)	58,0	42,0	
Comptage reins (cpm)	22171	16079	38251
Profondeur du rein (cm)	3,659	3,681	
Durée de Max (min)	3,335	14,0	
Durée de 1/2 Max (min)	10,7	21,6	
Durée de Max à 1/2 Max (min)	7,318	7,628	
Intervalle durée de pente ascendante (min)	0,300	0,751	
Pente ascendante (coups/sec ²)	2,795	2,629	

Rein gauche
Rein droit
Aorte

Temps vasculaire



Scintigraphie myocardique synchronisée à l'ECG



Détecteurs SPECT : double têtes disposés en « L » En Tomoscintigraphie myocardique

Images de la perfusion myocardique: petit axe et grands axes vertical et horizontal

Image Radiologique et Image en MN +++

Médecine Nucléaire

- Image de caractère **fonctionnel**
- Diagnostic précoce en général meilleure sensibilité
- Qualité image: moindre
- Utilise des **sources non scellées**: radiotraceurs (contamination+)
- **Image par émission**: détection de $R\gamma$ émis par l'organisme du patient qui a reçu le radiotraceur

Radiologie

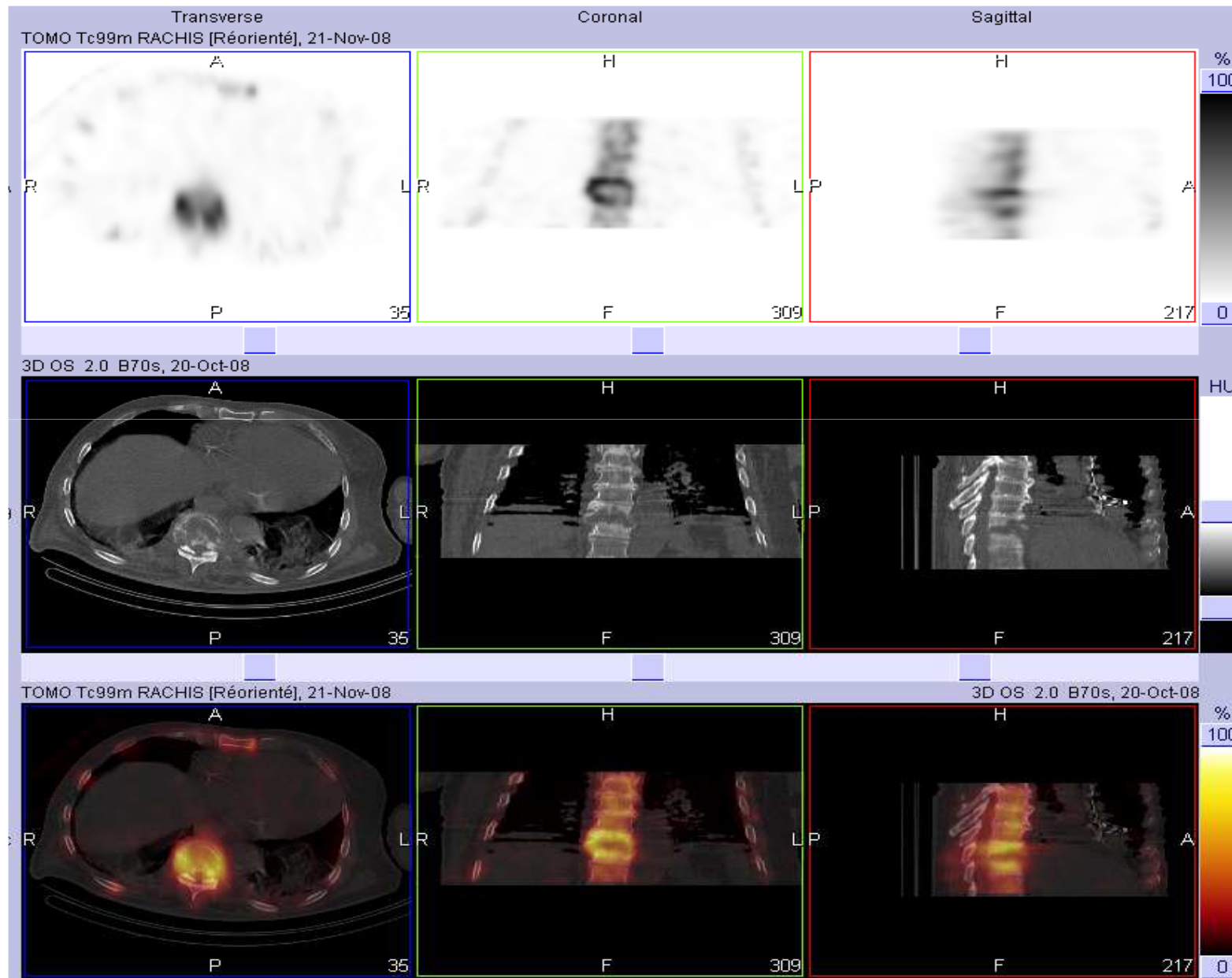
- Image de type **morphologique**
- Peu sensible au remaniement physiologique précoce
- Image d'excellente qualité
- Utilise des **sources scellées** (Tube à RX: exposition externe)
- **Image par atténuation** du faisceau de RX qui traverse les structures de l'organisme.

SPECT-CT +++

Deux types d'appareils sont couplés et accolés: SPECT-CT.

- TDM multi barrettes (4,16,64,...) permet de réaliser en quelques minutes, une acquisition du corps entier: image TDM
- SPECT: La Tomographie par Émission de Simple Photon (TEMP ou SPECT) avec deux têtes détectrices: image SPECT
- De la fusion de l'image TDM avec l'image SPECT résulte: image morphologique (TDM) et fonctionnelle (SPECT) d'excellente qualité et de grande précision diagnostique surtout dans l'exploration du squelette.....
- **Image radiologique et image en MN sont complémentaires**

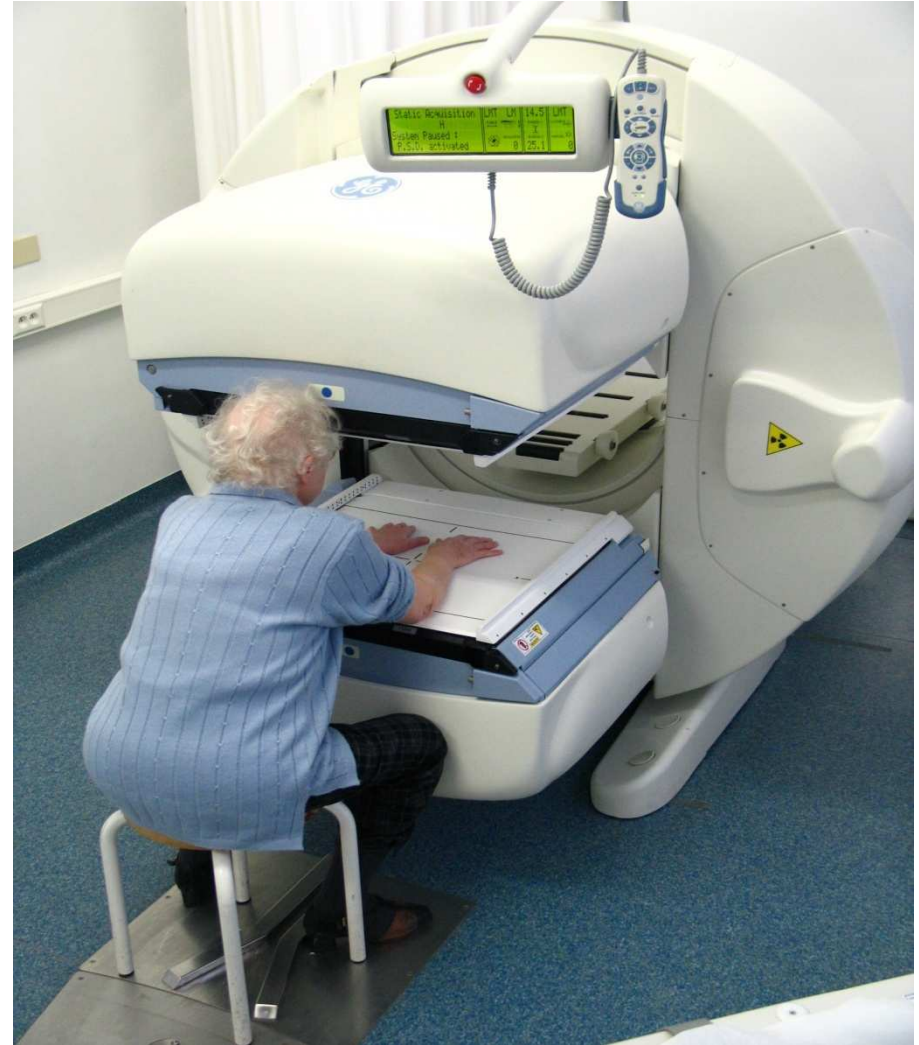
Images de SPECT-CT



SPECT-CT



SPECT-CT



Courtesy of Dr. Ph. Declerck, Ir. J. Walravens – St-Janskliniek, Nuclear medicine – Be

02/12/2010

26

TEP-TDM ou PET-CT +++

Deux types d'appareils sont couplés et accolés: TEP-CT.

- Image TDM fournie par un CT multi barrettes (4,16,64..)
- Image TEP: détecteurs disposés en couronne permettant la détection simultanée en coïncidence de 2 photons γ de 511 keV, émis à 180° l'un de l'autre et résultant de l'annihilation β^+ .
- Image TEP informations sur la localisation et la quantité du RP β^+ dans l'organe. Les émetteurs β^+ : FDG-F18; NH3.. (β^+ : O15 = 2 min; N13 = 10 min; C11 = 20 min..)
- De la fusion de l'image TDM avec l'image TEP résulte: image morphologique (TDM) et fonctionnelle (TEP) d'excellente qualité et de grande précision diagnostique mais examen coûteux.

Imagerie PET-CT au FDG-18 en cancérologie +

- **Le FDG (18-FluoroDéoxyGlucose) est un radiotraceur formé par:**
 - **le déoxyglucose : métabolite cellulaire et analogue du glucose**
 - **lié au marqueur Fluor-18 (Tp=110 mn), produit de cyclotron.**
- **Le FDG permet d'étudier le métabolisme du sucre. Après IIV , le FDG s'accumule dans la cellule cancéreuse (avide de sucre).**
- **Le PET détecte ce sucre et produit une imagerie métabolique**
- **PET-CT : Image combine l'information anatomique à l'information métabolique d'où un repérage anatomique précis des anomalies hypermétaboliques. En cancérologie, FDG pour diagnostic et suivi: lymphomes, leucémies, Cancers : poumon, digestifs, ORL...**

PET-CT



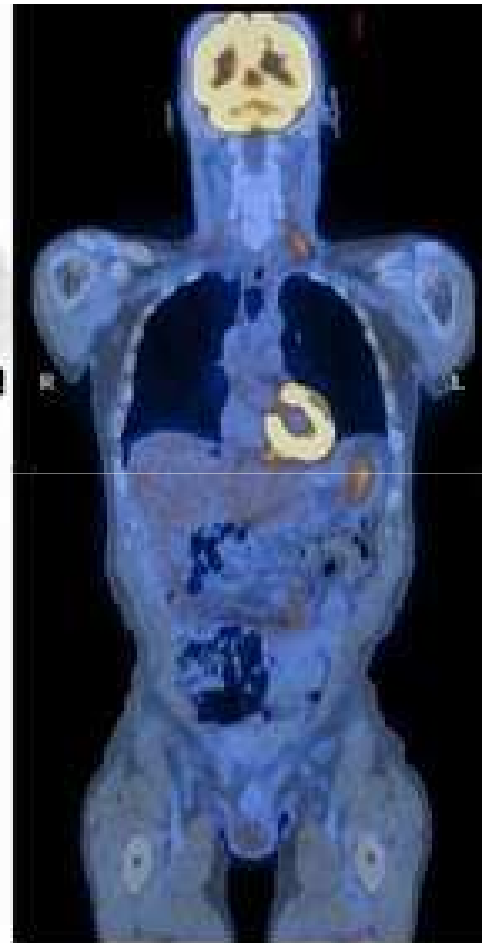
Images PET-CT



**CT Transmission
Scan**



**Attenuation
Corrected
PET Emission Scan**

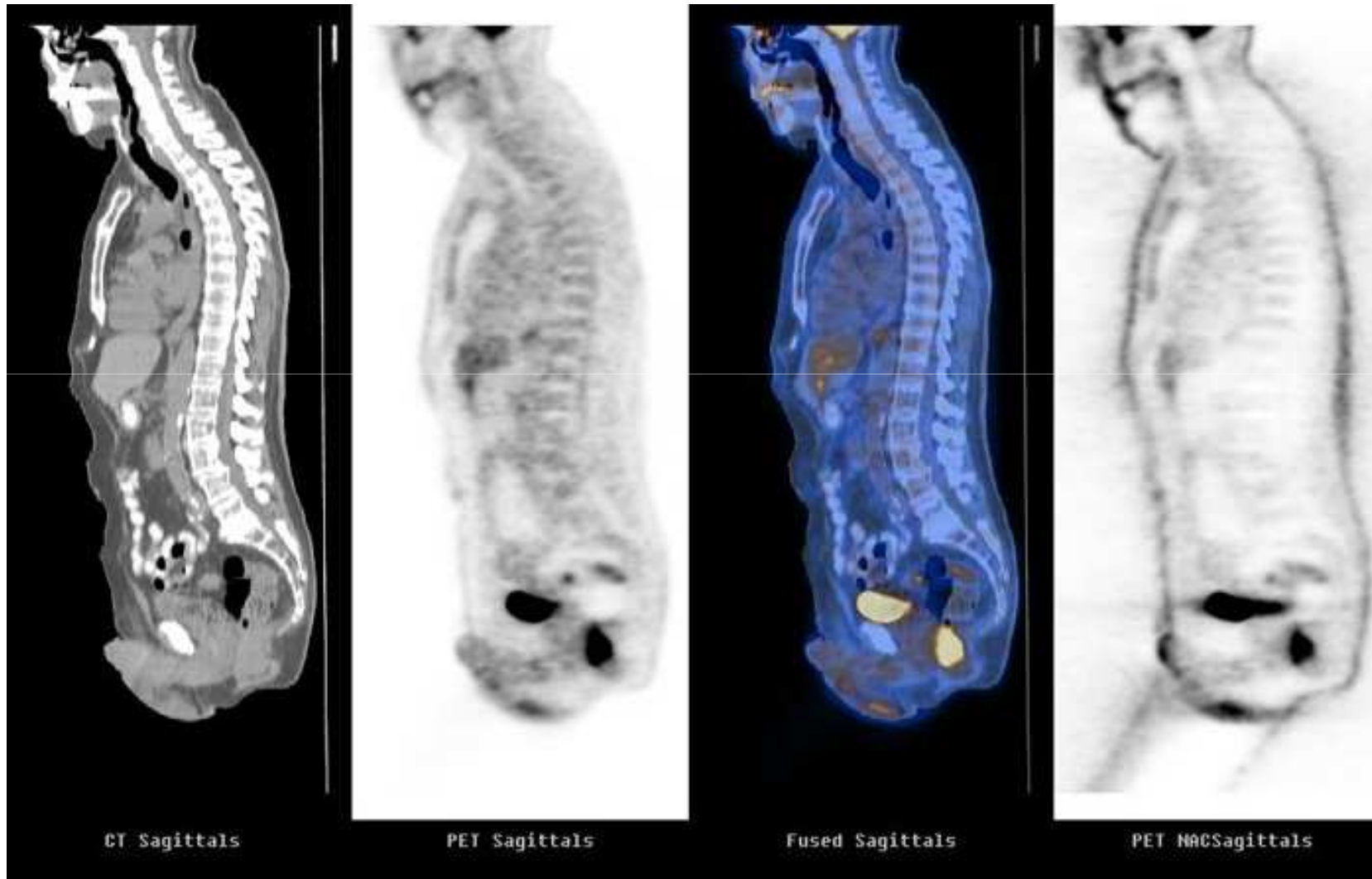


**PET-CT
Fusion Scan**

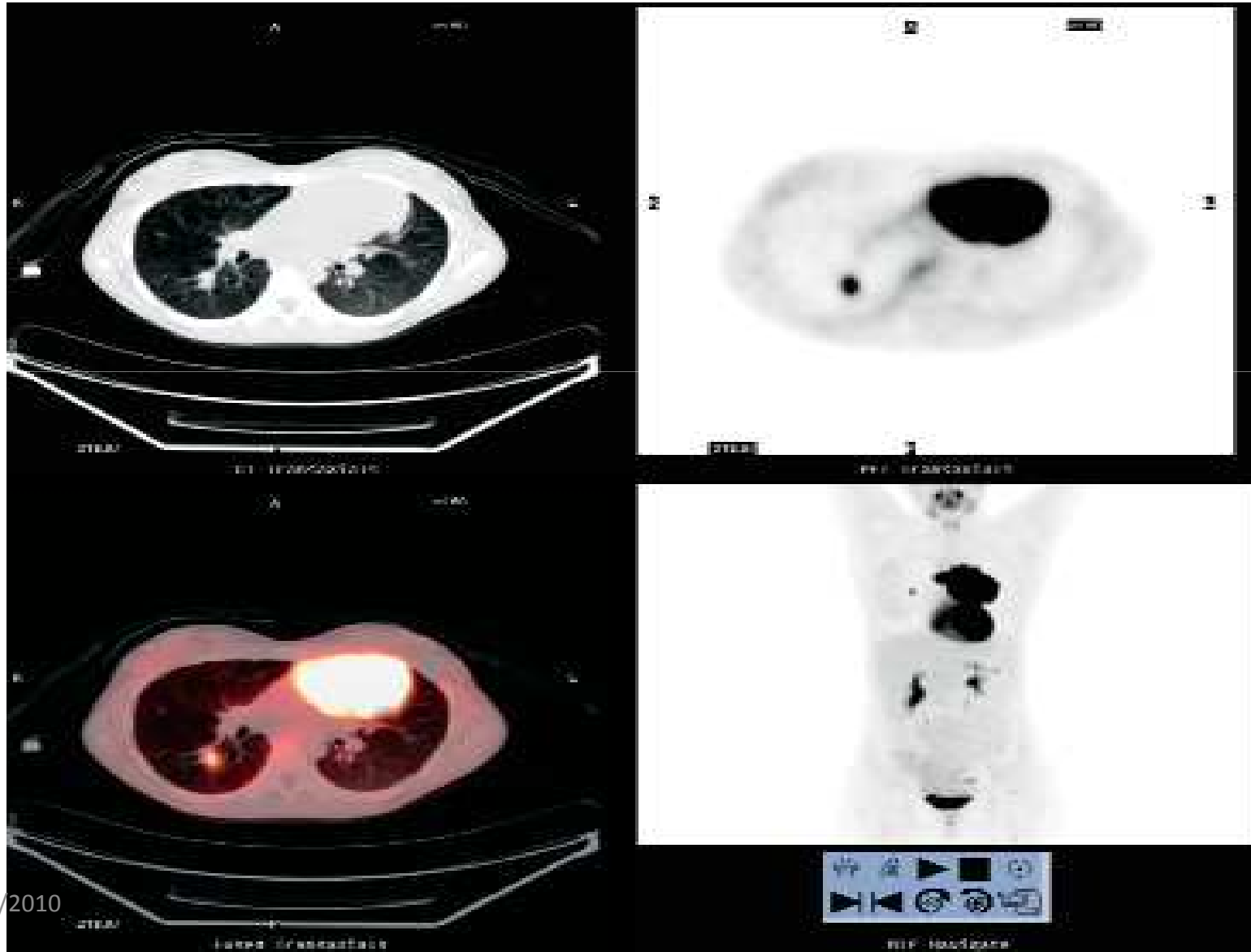


**Non-Attenuation
Corrected (NAC)
Emission Scan**

Images PET-CT



Images TEP-TDM



02/12/2010

32

Quelques Références

- DESMN : Quantification en tomographie d'émission - Irène Buvat - Mars 2010 - Irène Buvat- IMNC - UMR 8165 CNRS- Orsay
- The Journal of Nuclear Medicine (<http://www.snm/org>)
- Imagerie fonctionnelle en médecine nucléaire : du phénomène Physiologique à l'image- Irene Buvat- U678 inserm, CHU Pitié-Salpêtrière, France
- Médecine Nucléaire 1 - Les différents traceurs et leur production- Les détecteurs g et b+ Irène Buvat - U678 inserm, CHU Pitié-Salpêtrière, France
- Pr. Frédéric Paycha Unité de Médecine Nucléaire CHU Louis Mourier Colombes, France
- Guide des technologies de l'imagerie médicale et de la radiothérapie: quand la théorie éclaire la pratique J-P.Dillenseger,...E. Moerschel, J.P.Dillenseger-Masson 2009-
- Médecine nucléaire: manuel pratique . M Rubinstein, É. Laurent, M.Stegen-Ed De Boeck Université- 2000 Be
- Hybrid PET/CT and SPECT/CT Imaging: A Teaching File-D. Delbeke, O.Israel. Ed Springer 2004
- JOINT PROGRAM IN NUCLEAR MEDICINE Electronic Learning Resources Harvard Medical School RC. Rajadhyaksha, JA Parker, L.Barbaras; VH Gerbaudo