

IMAGERIE SCINTIGRAPHIQUE

Formation Générale en Sciences Médicales – 2^o année

Module biopathologie-imagerie

Denis Mariano-Goulart

Faculté de médecine et CHRU de Montpellier

<http://scinti.edu.umontpellier.fr>

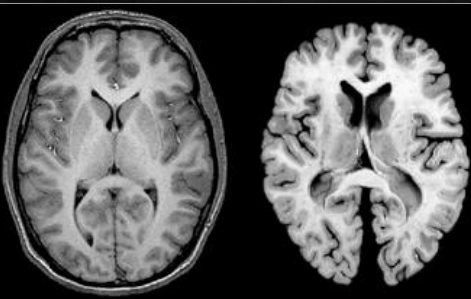
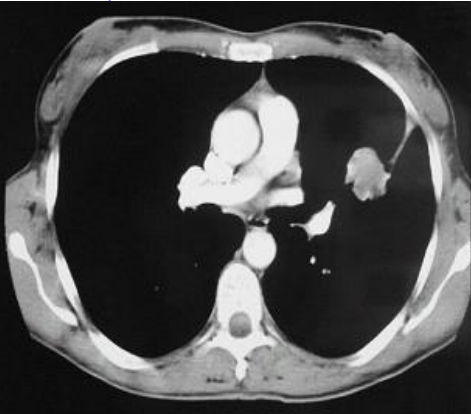
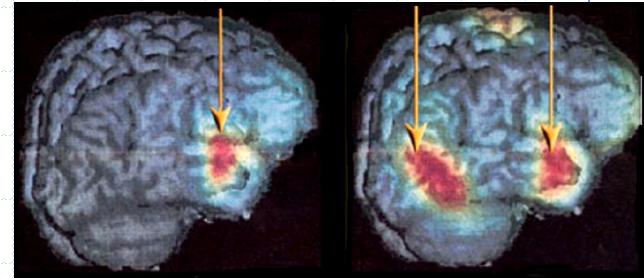
PLAN

- Médecine nucléaire & imagerie médicale
- Les traceurs radioactifs
- Les scintigraphies (TEMP et TEP)
- Principales indications diagnostiques
- Principales indications thérapeutiques
- Les dosages radio-immunologiques
- Dosimétrie

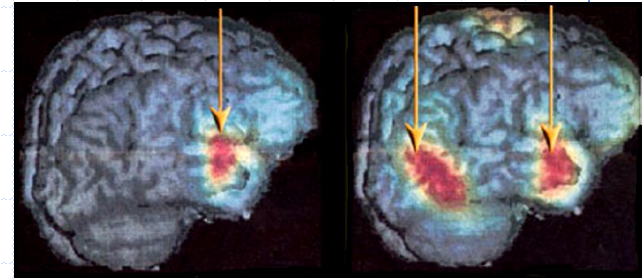
Imagerie médicale

ANATOMIQUE

FONCTIONNELLE



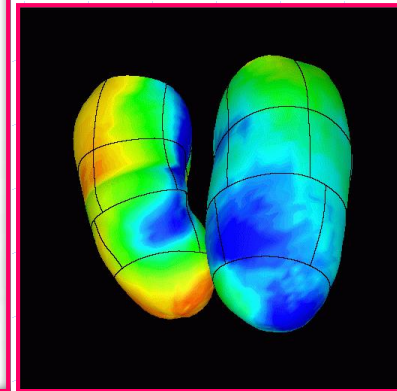
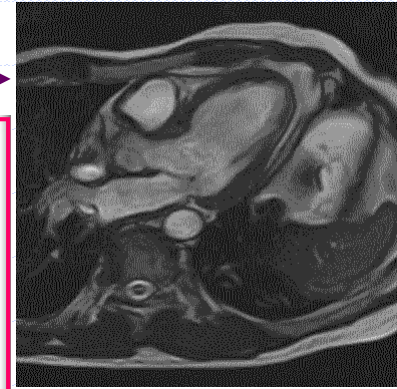
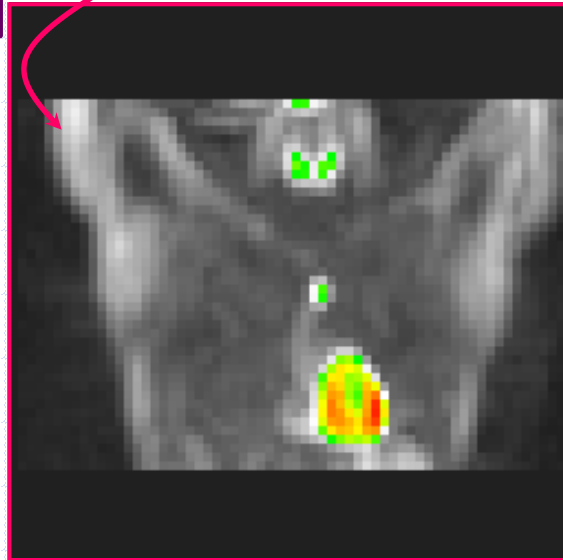
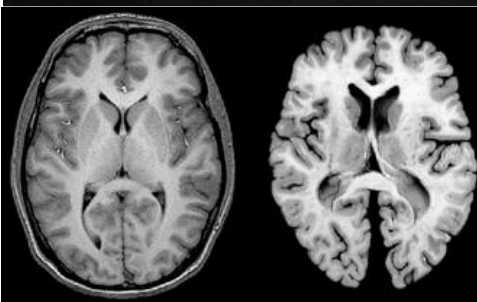
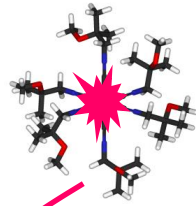
Imagerie médicale



ANATOMIQUE

METABOLIQUE

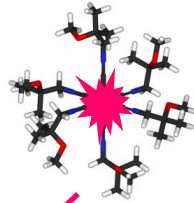
FONCTIONNELLE



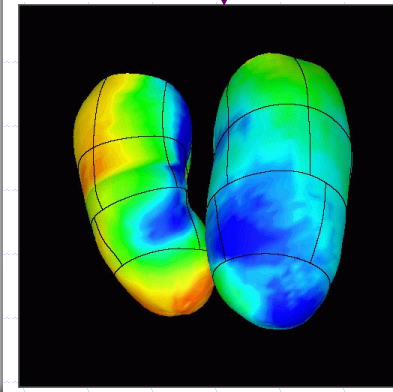
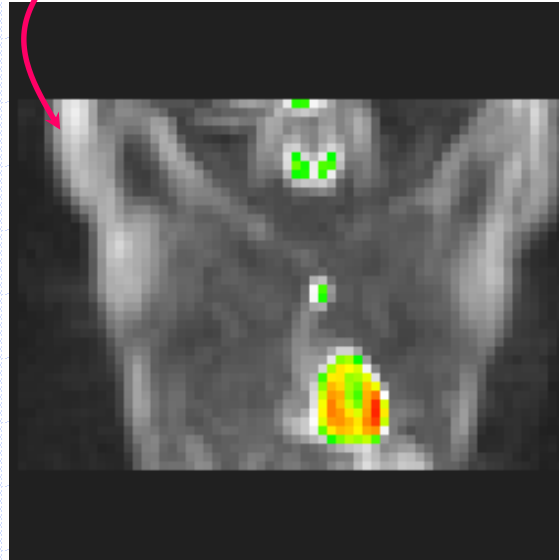
Médecine Nucléaire

Utilisation de **marqueurs radioactifs** pour tracer le devenir d'un **vecteur** (atome, molécule, cellule) dans un but diagnostique

IMAGERIE
DIAGNOSTIQUE
METABOLIQUE



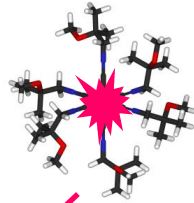
IMAGERIE DIAGNOSTIQUE FONCTIONNELLE



Médecine Nucléaire

Utilisation de
**marqueurs
radioactifs**
pour
tracer
le devenir
d'un
vecteur
dans un but
diagnostique
ou
thérapeutique

IMAGERIE
DIAGNOSTIQUE
METABOLIQUE

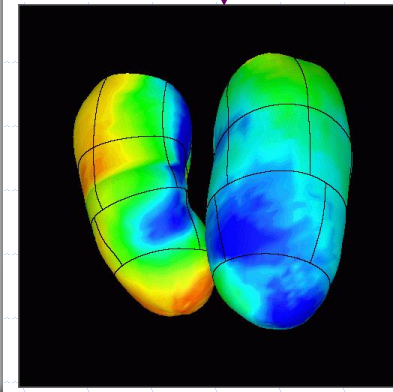
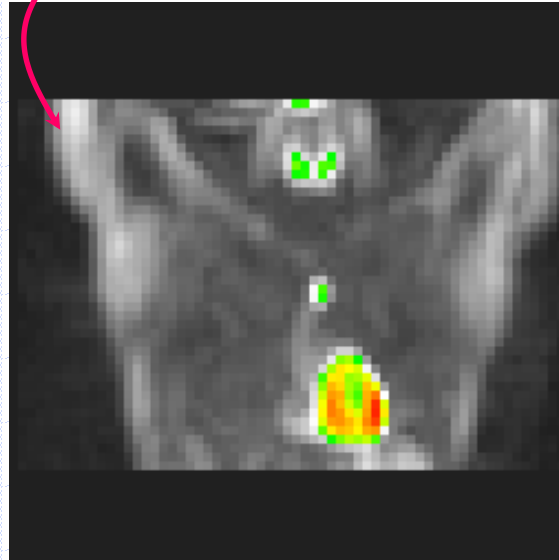


RADIOTHERAPIE METABOLIQUE
VECTORISEE

DETECTION PER-OPERATOIRE

DOSAGES RADIOIMMUNOLOGIQUES

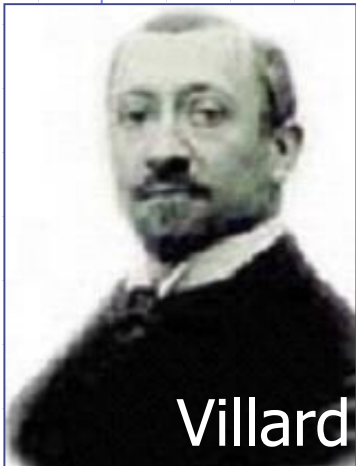
IMAGERIE DIAGNOSTIQUE FONCTIONNELLE



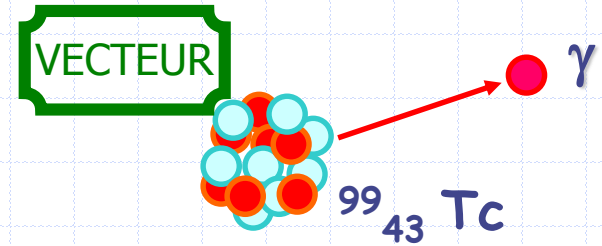
MEDECINE NUCLEAIRE

- **IMAGERIE DIAGNOSTIQUE :**
 - Moléculaire et fonctionnelle
 - Non invasive (faiblement irradiante)
 - Dans des conditions physiologiques
- **DETECTION PER-OPERATOIRE**
- **DOSAGES BIOLOGIQUES**
 - Forte sensibilité
- **THERAPEUTIQUE : Radiothérapie métabolique**
 - interne, sélective et prolongée

UN PEU D'HISTOIRE



détecteur à scintillation



γ -caméra

Traceurs cliniques γ

CZT

1900

1934

1940

1950

1956

1970

1979

2000

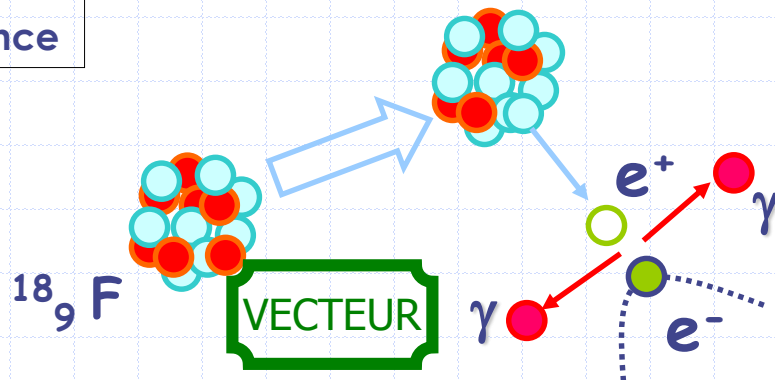
2005



détecteur à coïncidence

FDG

TEP



LES TRACEURS RADIOACTIFS

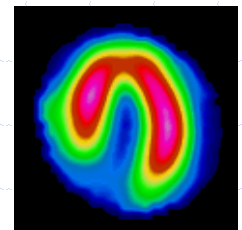
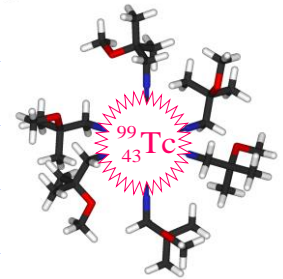
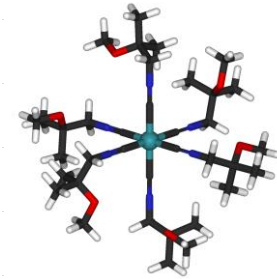
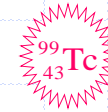
Quel marqueur radioactif ?

Quelle molécule vectrice ?

Comment les associer ?

VOCABULAIRE

- Marqueur: Atome détectable
- Vecteur: Molécule / cellule d'intérêt
- Traceur: Marqueur lié au vecteur
- Scintigraphie:
Distribution 2 ou 3D d'un traceur radioactif



MARQUEURS RADIOACTIFS

	ISOTOPE	RADIO PROTECTION	PROPRIETES
DIAGNOSTIC IN VIVO ou DETECTION	EMETTEURS DE PHOTONS PENETRANTS PEU DIFFUSES ⇒ β^+ ou γ ⇒ IONISANTS	PEU IRRADIANTS ⇒ T courtes : sec – h ⇒ ISOTOPES ARTIFICIELS	(RENDUS) SPECIFIQUES D'UN METABOLISME ⇒ AFFINITE CHIMIQUE

MARQUEURS RADIOACTIFS

	ISOTOPE	RADIO PROTECTION	PROPRIETES
DIAGNOSTIC IN VIVO ou DETECTION	EMETTEURS DE PHOTONS PENETRANTS PEU DIFFUSES $\Rightarrow \beta^+$ ou γ \Rightarrow IONISANTS	PEU IRRADIANTS $\Rightarrow T$ courtes : sec – h \Rightarrow ISOTOPES ARTIFICIELS	(RENDUS) SPECIFIQUES D'UN METABOLISME \Rightarrow AFFINITE CHIMIQUE
DIAGNOSTIC IN VITRO (RIA)	COMPTAGE $\Rightarrow X$ ou γ d'énergie faible		AFFINITE POUR LE CORPS A DOSER $\Rightarrow {}_{53}^{125}\text{I}, {}_6^{14}\text{C} \dots$

MARQUEURS RADIOACTIFS

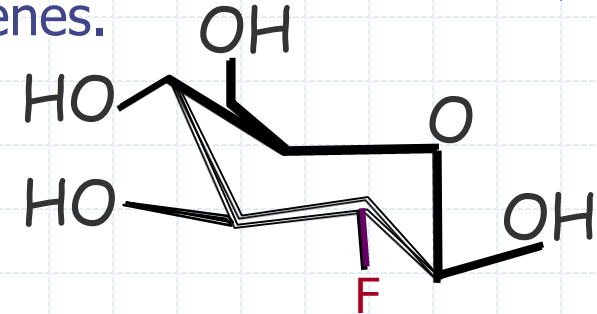
	ISOTOPE	RADIO PROTECTION	PROPRIETES
DIAGNOSTIC IN VIVO ou DETECTION	EMETTEURS DE PHOTONS PENETRANTS PEU DIFFUSES ⇒ β^+ ou γ ⇒ IONISANTS	PEU IRRADIANTS ⇒ T courtes : sec – h ⇒ ISOTOPES ARTIFICIELS	(RENDUS) SPECIFIQUES D'UN METABOLISME ⇒ AFFINITE CHIMIQUE
DIAGNOSTIC IN VITRO (RIA)	COMPTAGE ⇒ X ou γ d'énergie faible		AFFINITE POUR LE CORPS A DOSER ⇒ $^{125}_{53}\text{I}$, $^{14}_6\text{C}$...
THERAPIE	EMETTEURS DE PARTICULES IRRADIANTES	PARCOURS COURTS ⇒ α ou β ⇒ T assez courtes : jour ⇒ ISOTOPES ARTIFICIELS	(RENDUS) SPECIFIQUES D'UNE PATHOLOGIE ⇒ AFFINITE

VECTEURS

- **Simplex isotopes radioactifs (aérosols, colloïdes)**
 - Diagnostic (γ) : $^{99}_{43}\text{Tc}$, $^{201}_{81}\text{Tl}$, $^{123}_{53}\text{I}$, $^{133}_{54}\text{Xe}$, $^{81}_{36}\text{Kr}$, $^{67}_{31}\text{Ga}$
 - Thérapie (β) : $^{32}_{15}\text{P}$, $^{169}_{68}\text{Er}$, $^{186}_{75}\text{Re}$, $^{90}_{39}\text{Y}$, $^{131}_{53}\text{I}$, $^{223}_{88}\text{Ra}$, ...
- **Molécules, dont la fixation est liée à :**
 - la **perfusion** : cérébrale, myocardique
 - un **métabolisme** : os, adrénaline, cholestérol, iode, glucose
 - Des **récepteurs** membranaires : somatostatine, dopamine
 - une **fonction** : tubulaire rénale, excrétrice biliaire, salivaire
- **Aérosols, microsphères, agrégats d'albumine**
 - Ventilation et perfusion pulmonaire
- **Cellules**
 - globules rouges : fonction cardiaque, hémorragies
 - polynucléaires : infection
 - Plaquettes : fonction splénique, séquestration

MARQUAGE DE VECTEURS

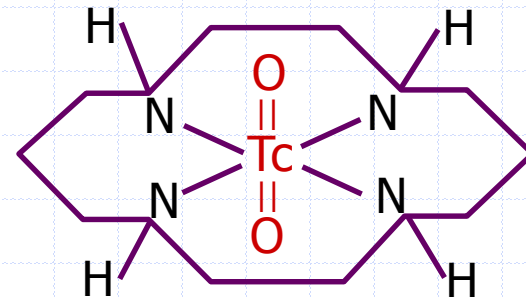
- **marqueur non métallique**, halo (F, I), chalcogène (O), N, P, C :
 - **Liaison directe sur C**, pour toute taille de vecteur.
 - Addition électrophile, échange d'halogènes.
 - Marqueurs β^+ : $^{11}_6\text{C}$, $^{18}_9\text{F}$
 - Marqueurs γ : $^{123}_{53}\text{I}$



- **marqueur métallique :**

- Les liaisons simples C-Métal sont instables dans l'eau
- **Groupe complexant** avec plusieurs donneurs d' e^-
 - Exemple : Tétradentate :

- Seulement pour de grosses
- molécules vectrices.



TRACEURS γ

GENE-
RATEUR

Marqueur	T	Vecteur	Fonction
$^{99}_{43}\text{Tc}$	6 h	HDP, HMPAO, ECD, MIBI, TF, MAA, AERO, MAG3, GB, GR	Os, Cerveau, Myocarde Poumon, rein, infection, sang
$^{111}_{49}\text{In}$	2,8 j	pentétréotide	somatostatine
$^{133}_{54}\text{Xe}$	5,2 j	-	Volumes pulmonaires
$^{81}_{36}\text{Kr}$	13 s	-	Débits bronchiques
$^{67}_{31}\text{Ga}$	3,3 j	Citrate de gallium	inflammation
$^{201}_{81}\text{Tl}$	3 j	-	Cancer, perfusion myocardique
$^{123}_{53}\text{I}$	13 h	MIBG	Noradrénaline (cœur, médullosurrénale)
$^{131}_{53}\text{I}$	8 j	Noriodocholestérol	corticosurrénale

TRACEURS γ : $A \uparrow, T \approx \text{jour}$

GENE-
RATEUR

Marqueur	T	Vecteur	Fonction
$^{99}_{43}\text{Tc}$	6 h	HDP, HMPAO, ECD, MIBI, TF, MAA, AERO, MAG3, GB, GR	Os, Cerveau, Myocarde Poumon, rein, infection, sang
$^{111}_{49}\text{In}$	2,8 j	pentétréotide	somatostatine
$^{133}_{54}\text{Xe}$	5,2 j	-	Volumes pulmonaires
$^{81}_{36}\text{Kr}$	13 s	-	Débits bronchiques
$^{67}_{31}\text{Ga}$	3,3 j	Citrate de gallium	inflammation
$^{201}_{81}\text{Tl}$	3 j	-	Cancer, perfusion myocardique
$^{123}_{53}\text{I}$	13 h	MIBG	Noradrénaline (cœur, médullosurrénale)
$^{131}_{53}\text{I}$	8 j	Noriodocholestérol	corticosurrénale

TRACEURS β^+

Marqueur	T (min)	Vecteur	Fonction
$^{18}_9\text{F}$	110	FDG, FNa F-Choline, F-DOPA	Cancer, cardio., neuro.
$^{15}_8\text{O}$	2	O ₂ , CO ₂ , H ₂ O, CO	Volémie, DSC
$^{11}_6\text{C}$	20	Met, opiacés, BZD, D2, S2	Cancers, récepteurs
$^{13}_7\text{N}$	10	NH ₃	Perfusion myocardique
$^{82}_{37}\text{Rb}$	1 ¼	-	Perfusion myocardique
$^{68}_{31}\text{Ga}$	68	DOTA-Peptides -	Cancers Infections

TRACEURS β^+ : $A \downarrow, T \approx \text{minute}$

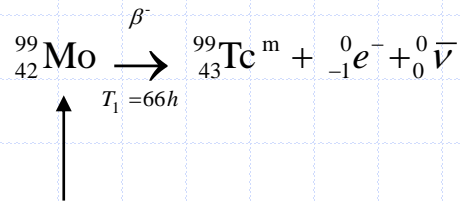
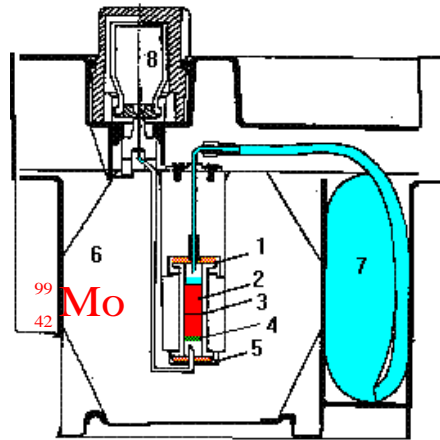
Marqueur	T (min)	Vecteur	Fonction
$^{18}_9\text{F}$	110	FDG, FNa F-Choline, F-DOPA	Cancer, cardio., neuro.
$^{15}_8\text{O}$	2	$\text{O}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{CO}$	Volémie, DSC
$^{11}_6\text{C}$	20	Met, opiacés, BZD, D2, S2	Cancers, récepteurs
$^{13}_7\text{N}$	10	NH_3	Perfusion myocardique
$^{82}_{37}\text{Rb}$	1 ¼	-	Perfusion myocardique
$^{68}_{31}\text{Ga}$	68	DOTA-Peptides -	Cancers Infections

☺ Générateurs de rubidium et de gallium

☺ Marquage des petites molécules de base de la biochimie,

☹ mais gestion délicate des périodes très courtes

PRODUCTION DU ^{99m}Tc

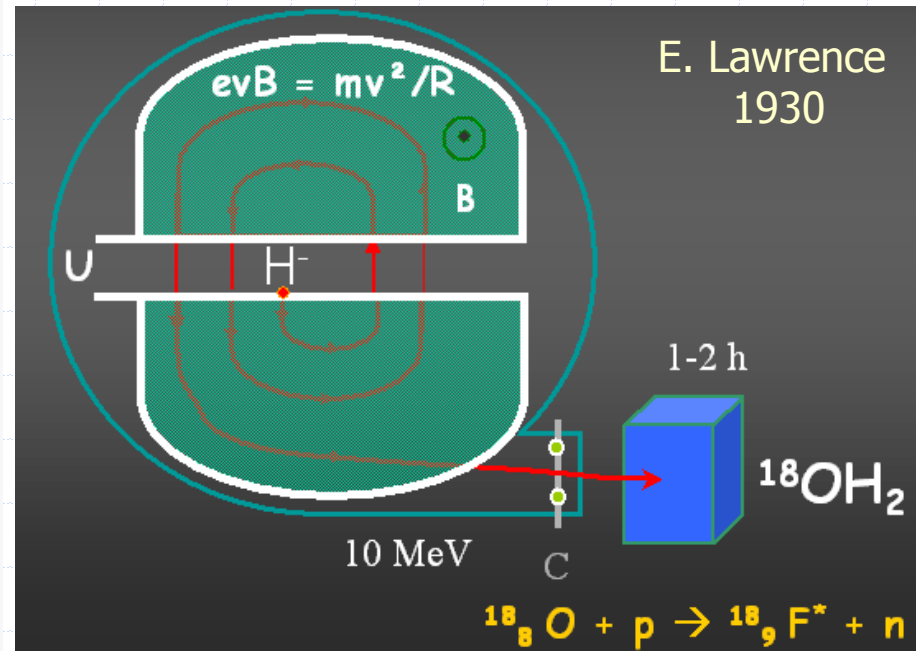
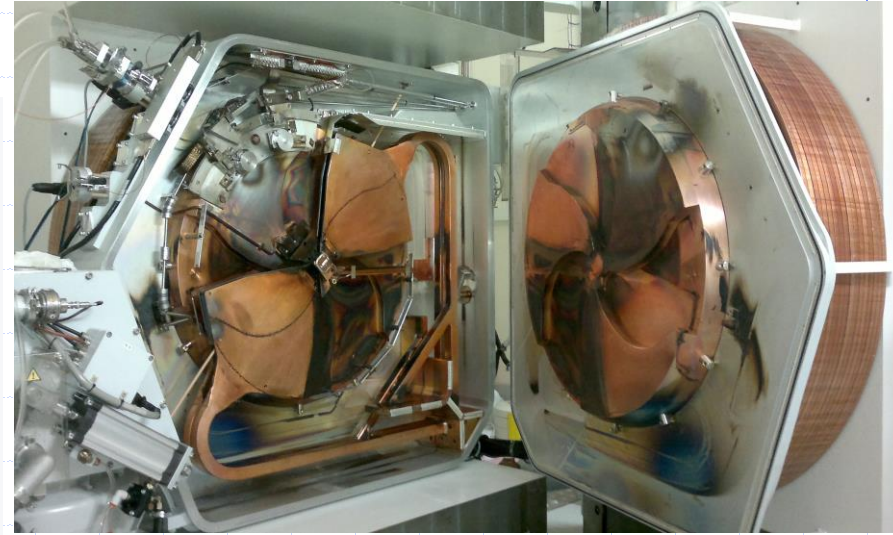
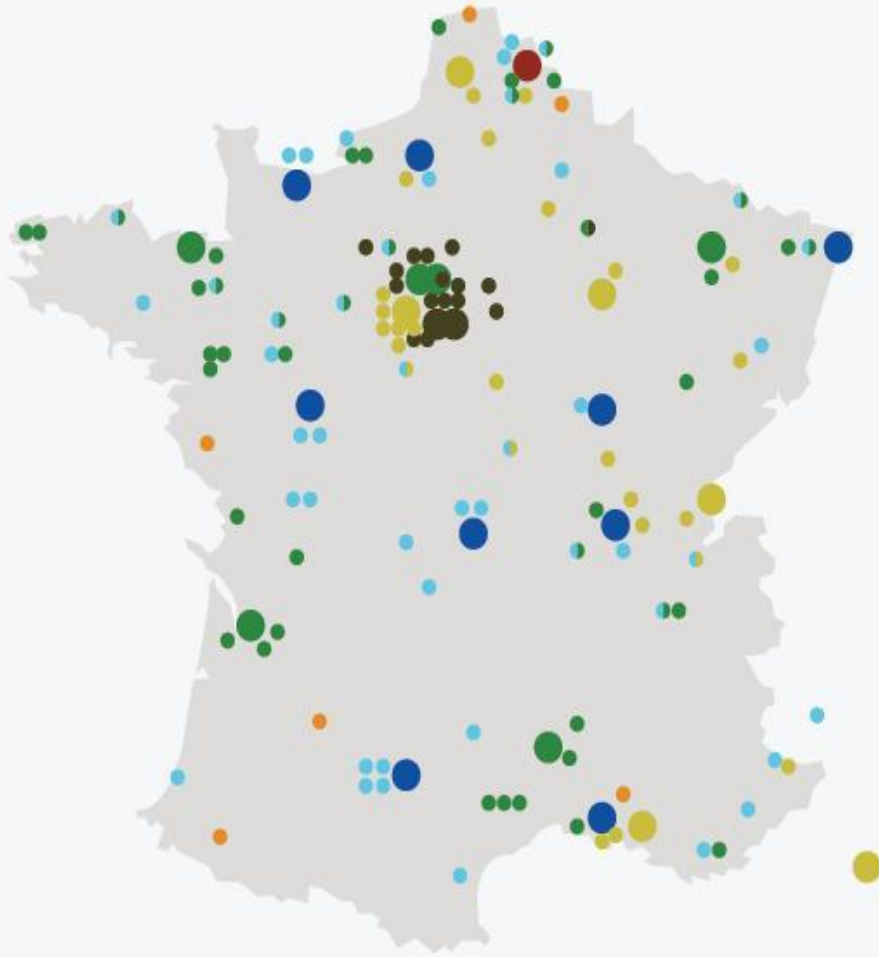


Réacteur nucléaire
(activation neutronique
du ^{98}Mo
ou fission de ^{235}U)



PRODUCTION DU ^{18}F

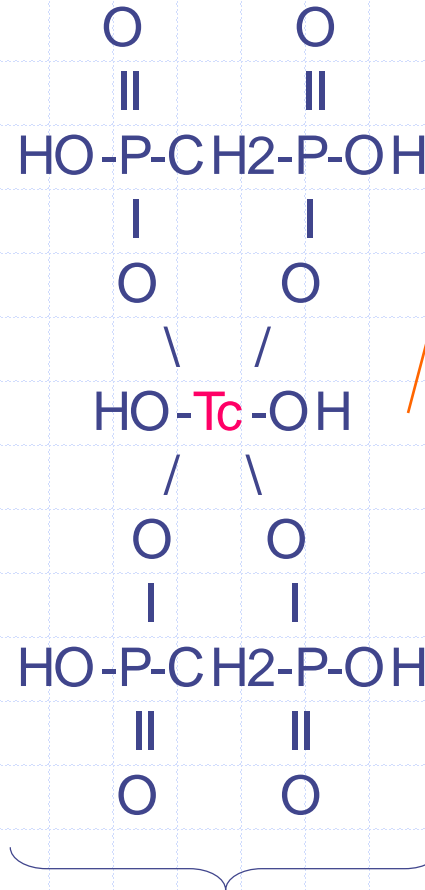
CARTOGRAPHIE DU RÉSEAU TEP EN FRANCE



SCINTIGRAPHIE

Le **marqueur** est utilisé pour rendre radioactive une molécule **vectrice** spécifique d'un métabolisme d'intérêt.

La cartographie de radioactivité mesurée est appelée **scintigraphie**

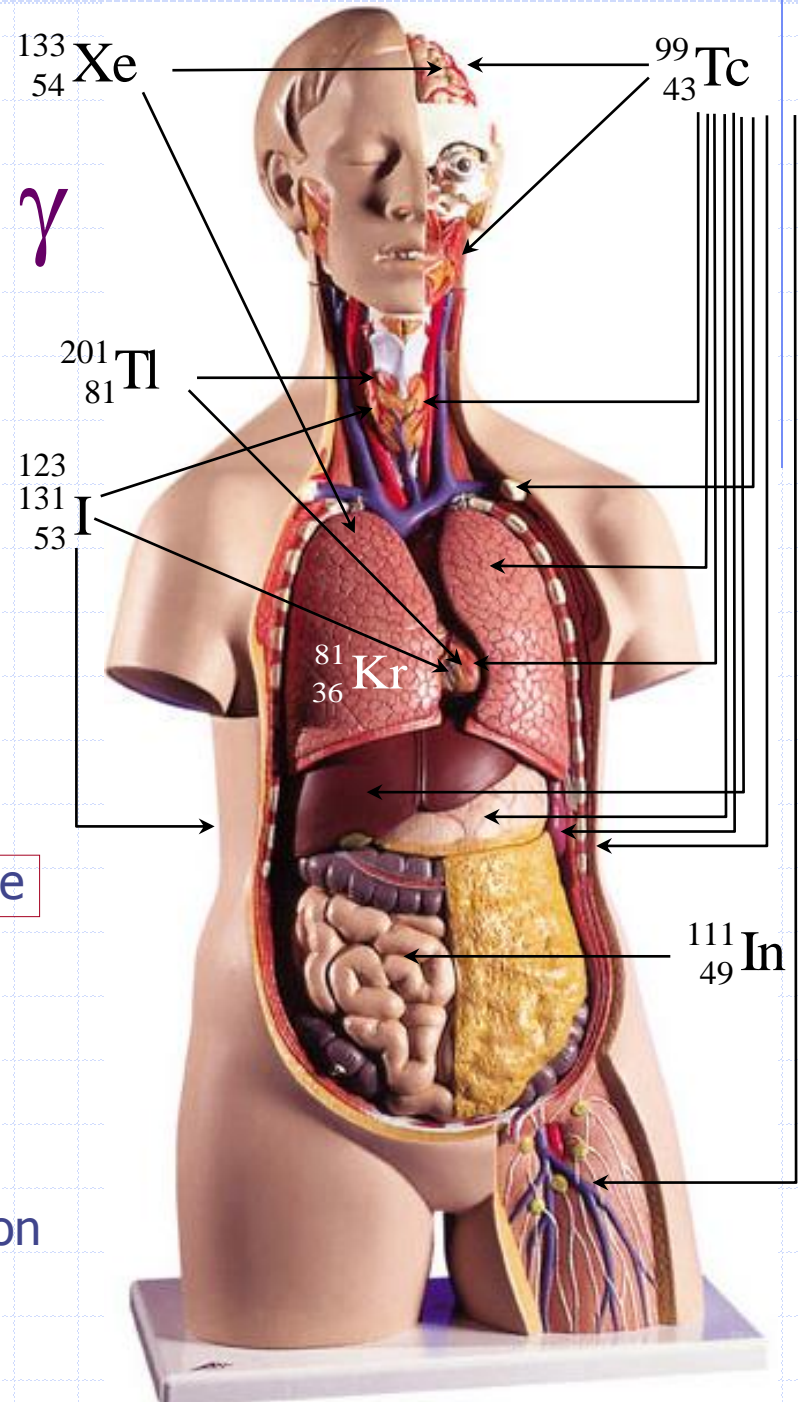


TRACEUR RADIOACTIF



SCINTIGRAPHIES γ

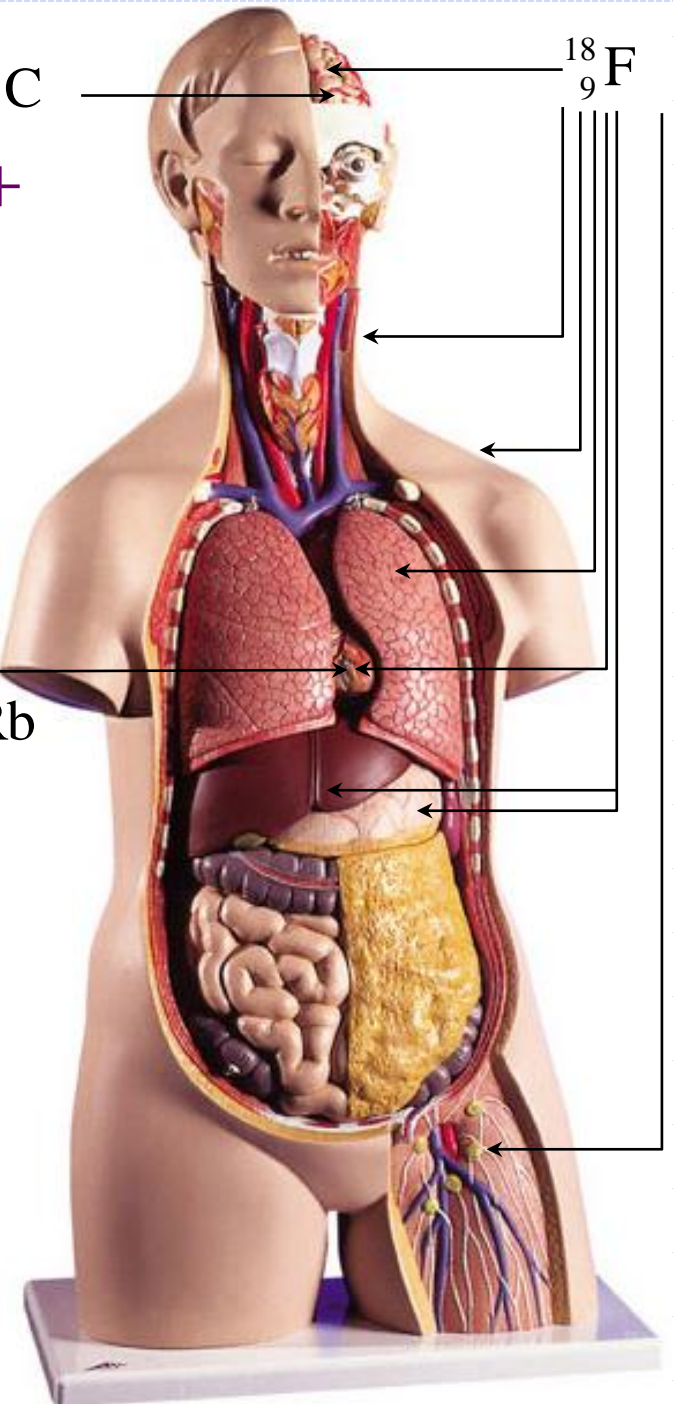
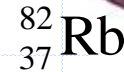
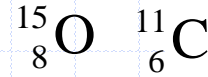
- **Technétium** :
- **hématies** et **polynucléaires**,
- Métabolisme: os, thyroïde, rein,
- Perfusion: cérébrale, pulmonaire, cœur,
- rate, foie, voies biliaires, tube digestif,
- Glandes salivaires et lacrymales,
- **Thallium** : perfusion myocardique,
- tumeurs, parathyroïdes
- **Iodes** : thyroïde, surrénale, **noradrénaline**
- **Krypton** : débit bronchique
- **Gallium** : inflammation
- **Indium** : **plaquettes**, Ac monoclonaux,
- **somatostatine**
- **Xénon** : débit sanguin cérébral, ventilation



T = (13 sec) 6 h – 8 jours; E = 70-374 keV

SCINTIGRAPHIES β^+

- **Fluor** : cancer, infection, hypoxie, inflammation, métabolisme cérébral
- **Azote**: perfusion myocardique (NH_3)
- **Carbone** : cancer, méthionine, opiacés, benzodiazépines, récepteurs à la dopamine, à la sérotonine.
- **Oxygène**: débit sanguin cérébral, volémie: O_2 , CO_2 , H_2O , CO
- **Rubidium** : perfusion myocardique
- **Gallium** : peptides (cancers), infection



T = 1 – 110 min; E = 511 keV

SYNTHESE 1

- Imagerie moléculaire et fonctionnelle
- Détection per-opératoire, thérapie et RIA
- Marqueur radio-isotope artificiel :
 - γ (TEMP), β^+ (TEP), β (Thérapeutique)
- Vecteur: atome, molécule(s), cellule
- Liaison facile halo-chalcogènes
- Groupe complexant pour les métaux

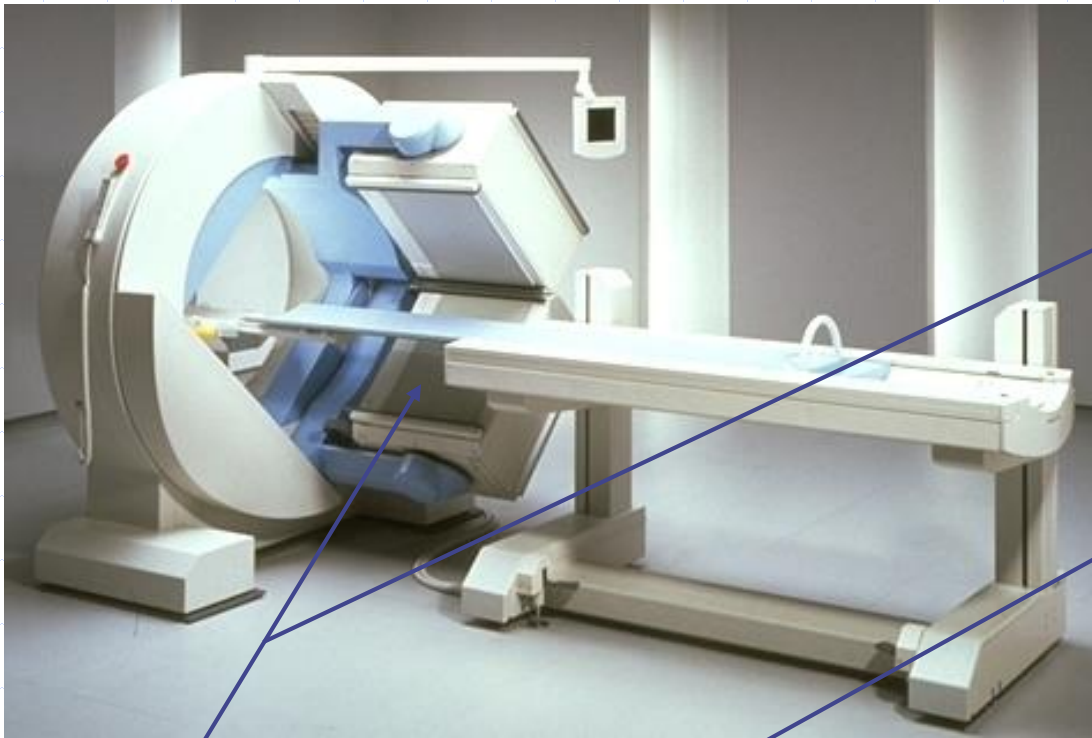
DU TRACEUR A L'IMAGE

Scintigraphie γ

Scintigraphie β^+

Corrections des artefacts

GAMMA-CAMERA TEMP*



Collimateur

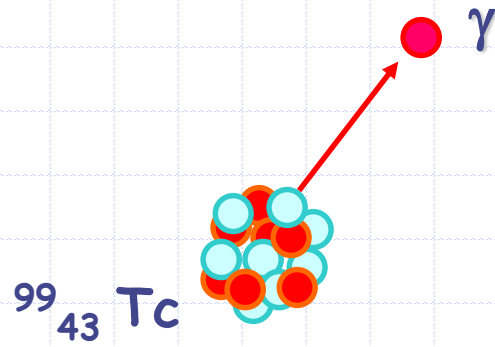
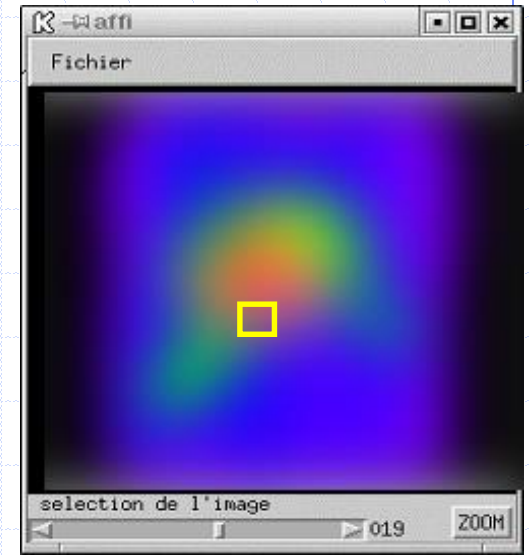
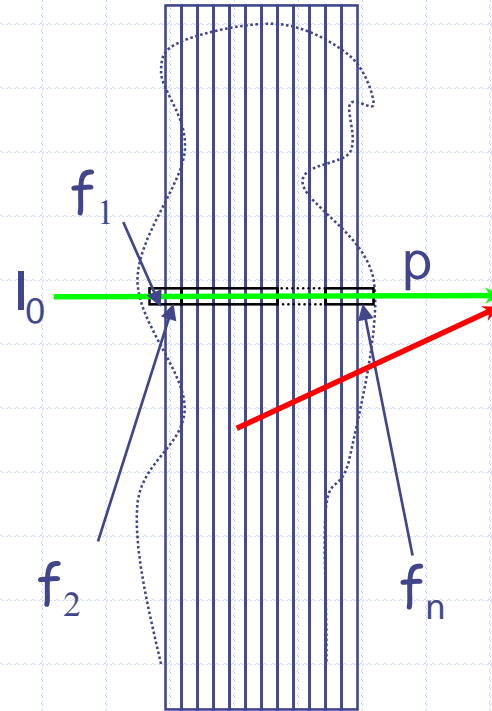
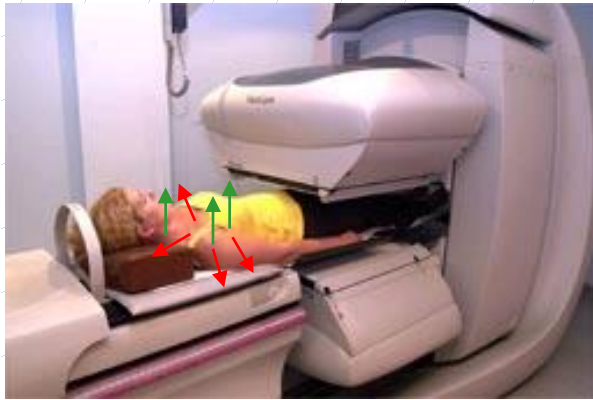
Scintillateur

Photo-multiplicateur

Localisation

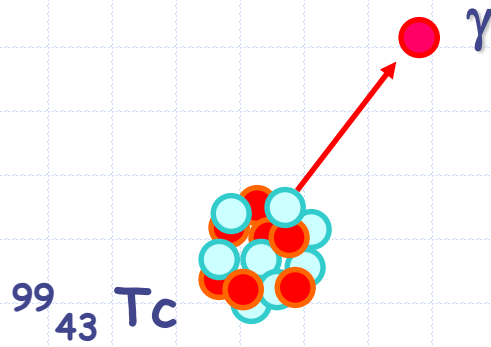
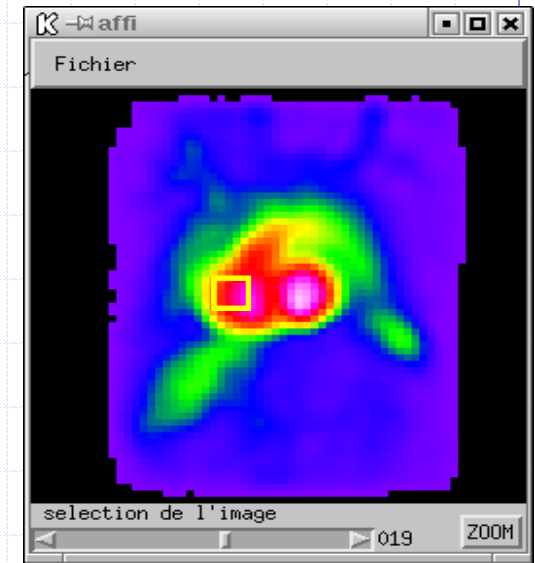
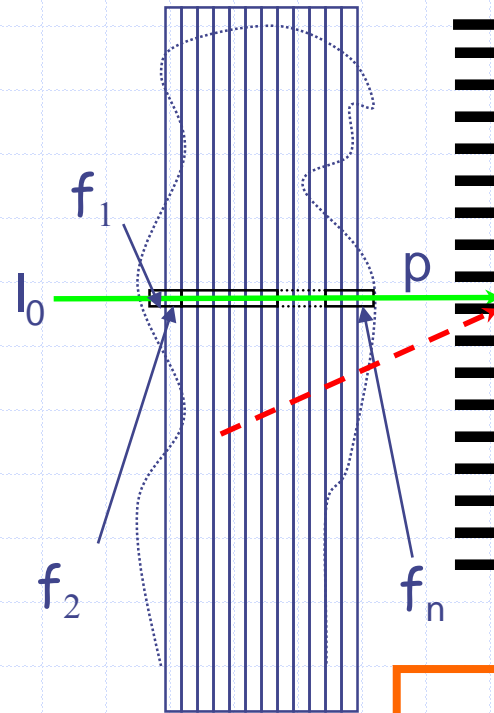
* Tomographie par Emission de Mono Photonique γ = SPECT

SCINTIGRAPHIE γ



SCINTIGRAPHIE γ

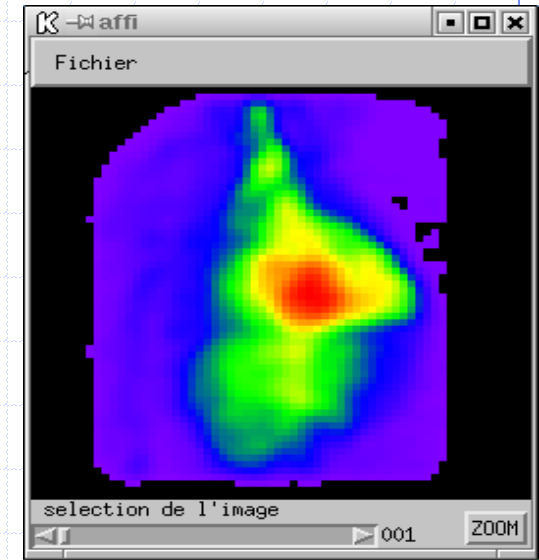
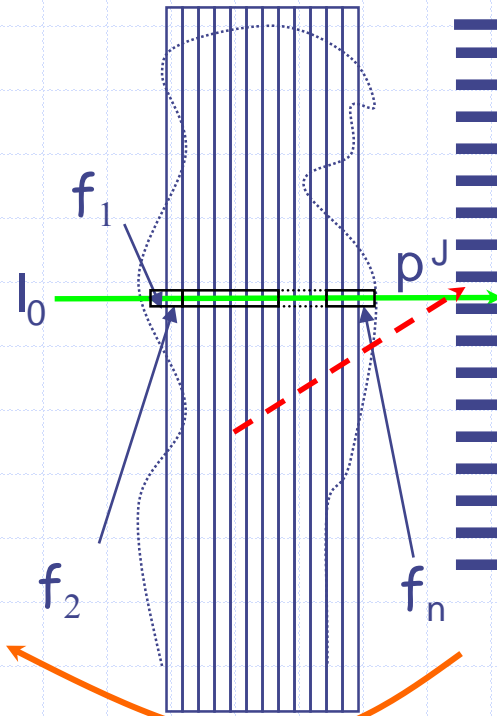
COLLIMATEUR



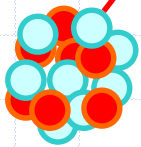
$$p = R_1 f_1 + R_2 f_2 + \dots + R_n f_n$$

résolution \approx cm
bruit de Poisson

SCINTIGRAPHIE γ (TEMP)

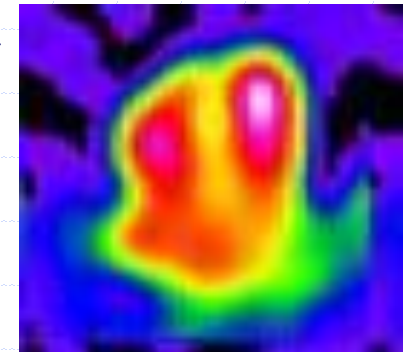


$^{99}_{43}\text{Tc}$

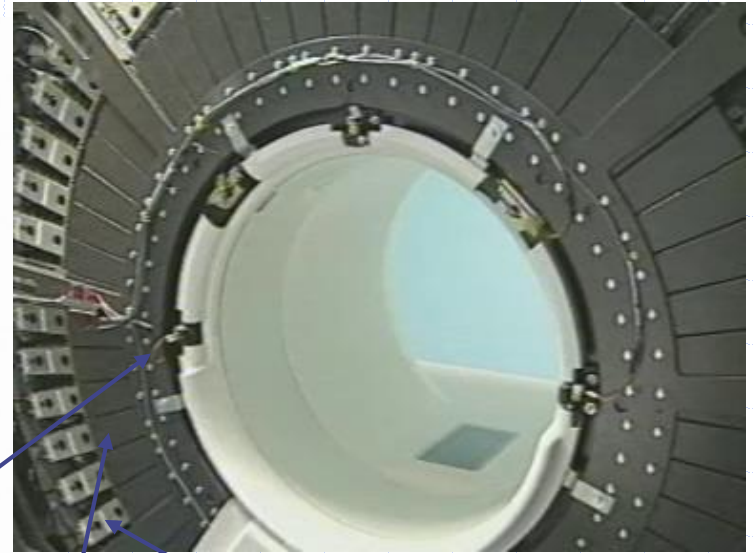


γ

$$\begin{cases} p^1 = R_1^1 f_1 + R_2^1 f_2 + \dots + R_n^1 f_n \\ \dots \\ p^m = R_1^m f_1 + R_2^m f_2 + \dots + R_n^m f_n \end{cases}$$



GAMMA-CAMERA TEP*



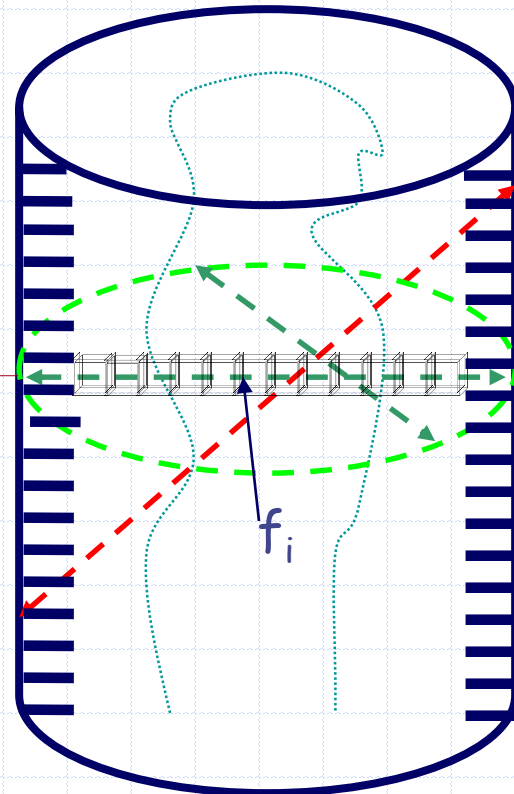
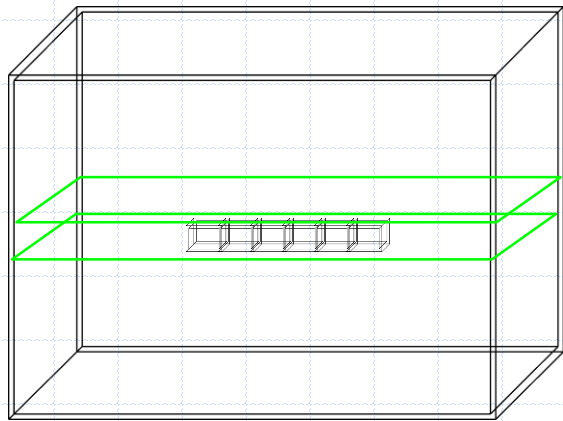
Scintillateur

Photo-multiplicateur

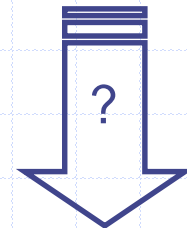
Localisation

* Tomographie par Emission de Positons = PET

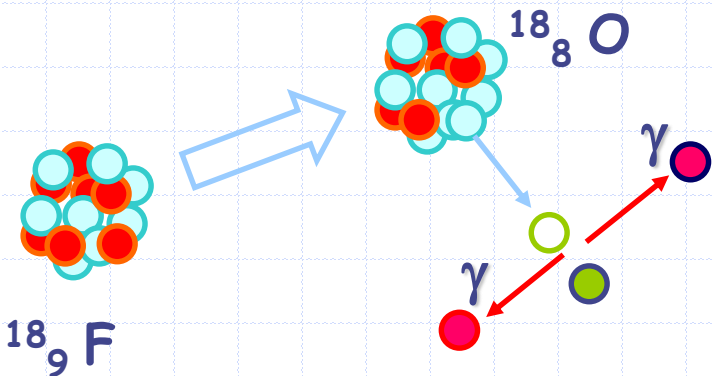
SCINTIGRAPHIE β^+ (TEP 2D)



$$p^j = \sum R_i^j f_i$$

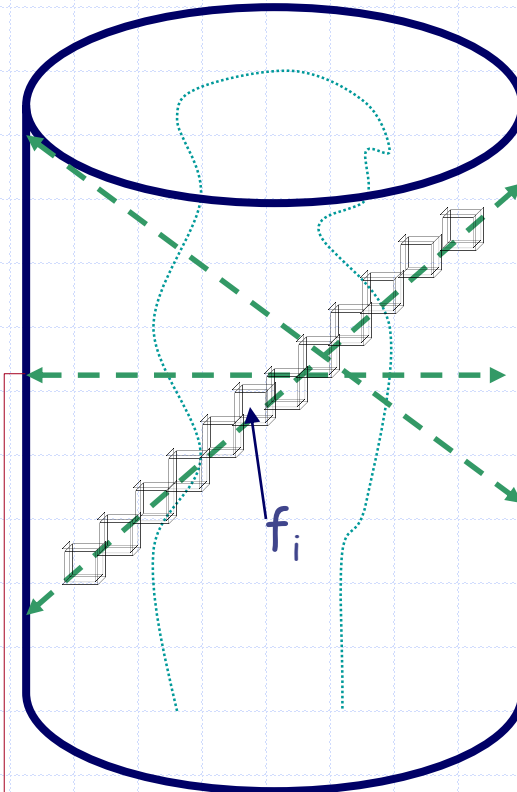
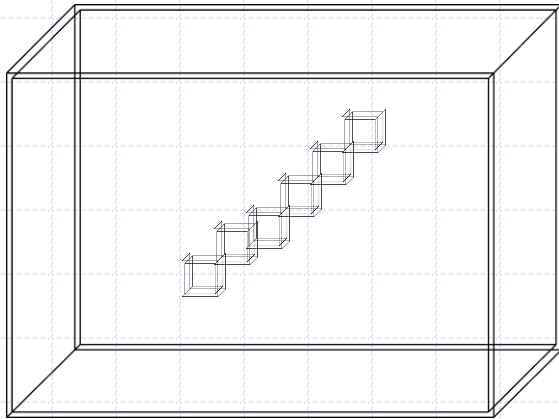


Coïncidence à τ près ?

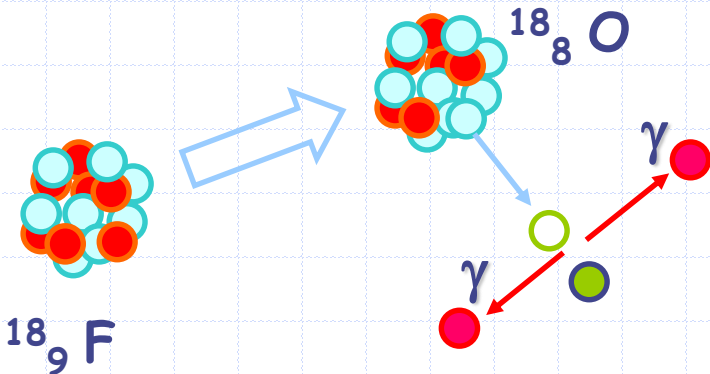
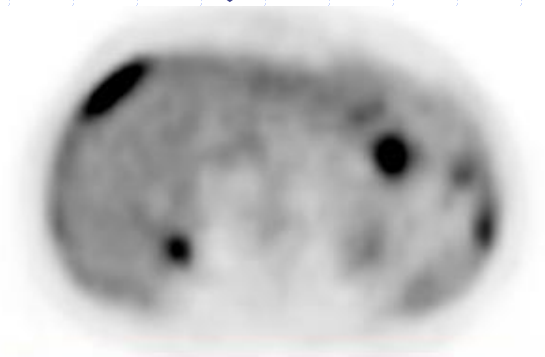
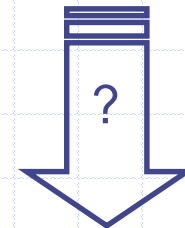


SCINTIGRAPHIE β^+ (TEP 3D)

TEP sans collimateur



$$p^j = \sum R_i^j f_i$$

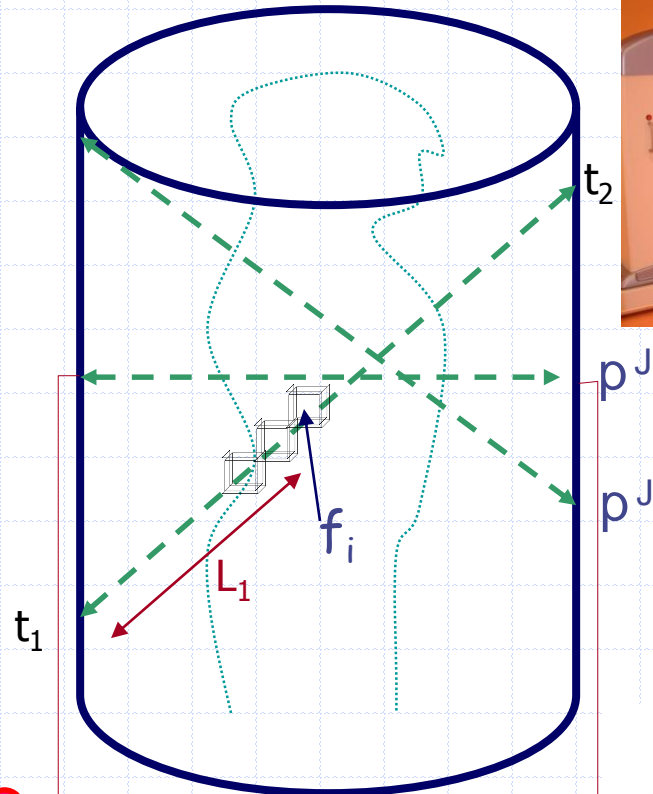
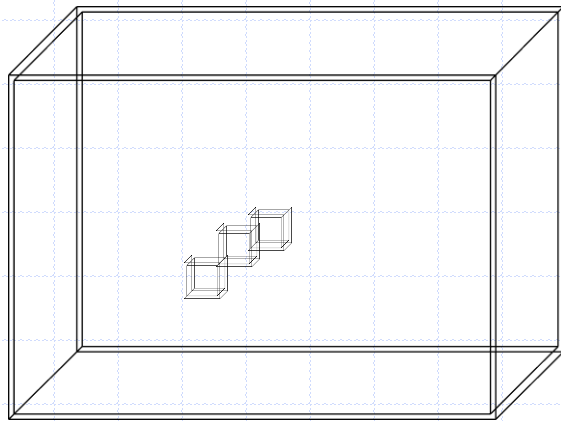


Coïncidence à τ près ?

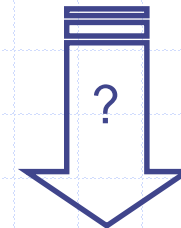
$$\tau \approx 5 \text{ ns}$$

SCINTIGRAPHIE β^+ (TEP 3D-TOF)

TEP en temps de vol

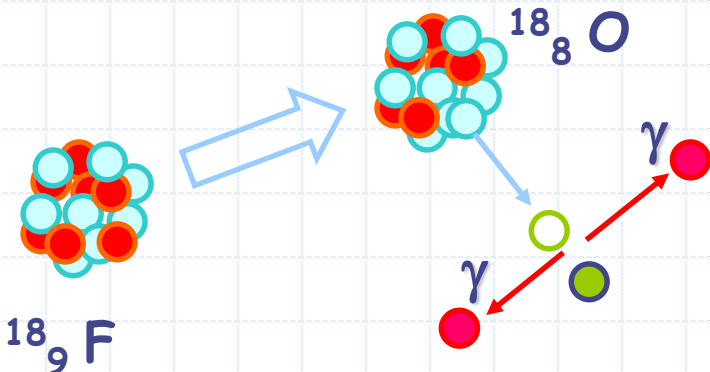


$$p^j = \sum R_i^j f_i$$

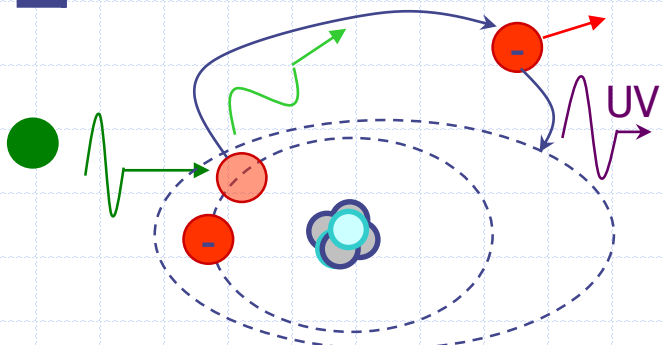
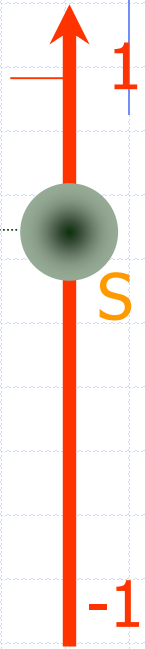
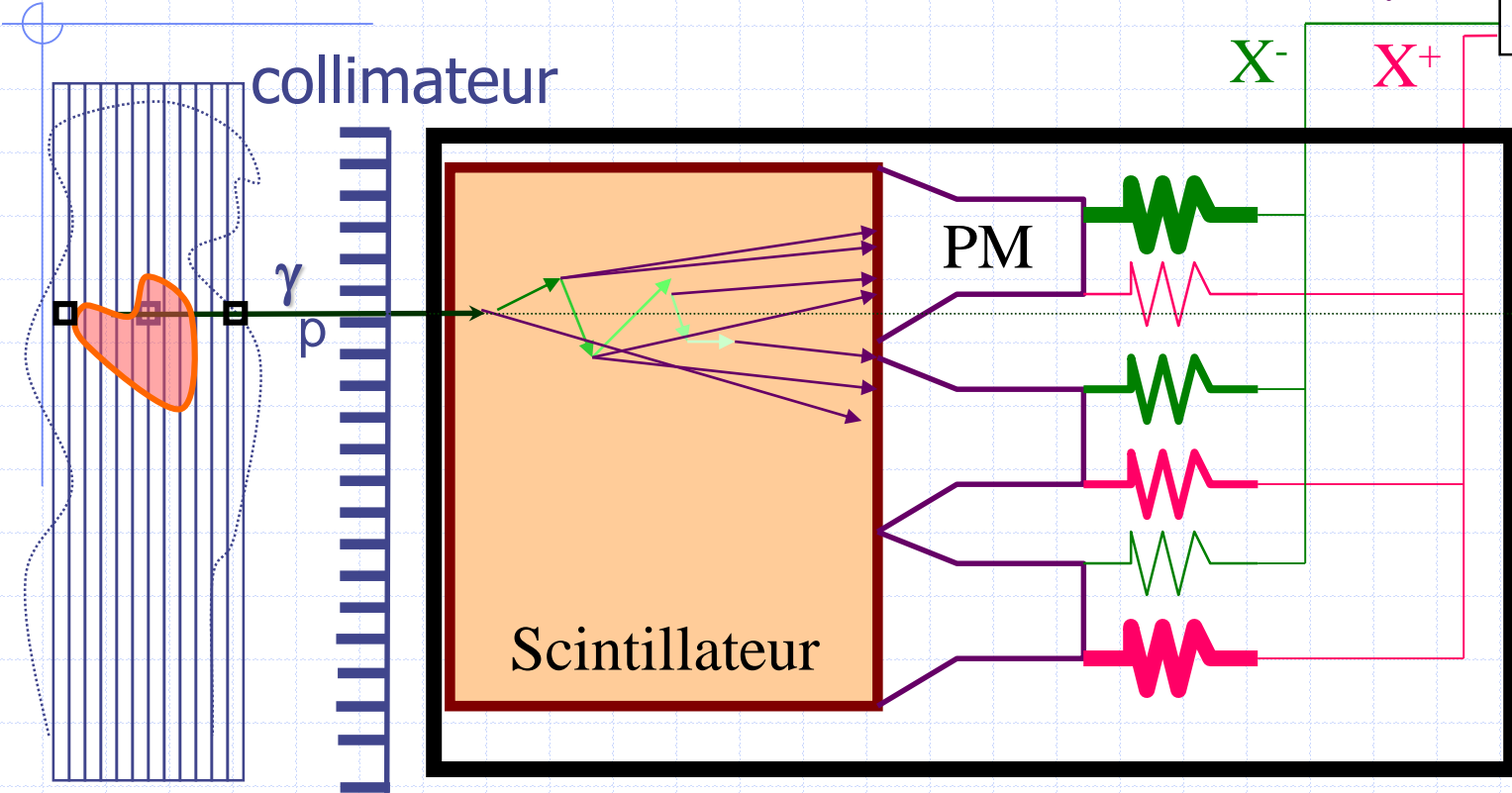
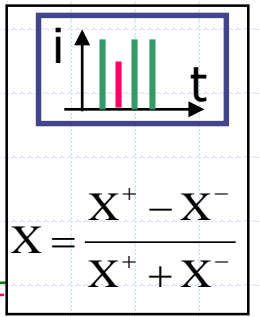


Coïncidence à τ près ?

$$|t_1 - t_2| = |L_1 - L_2|/c < \tau \approx 5 \text{ ns}$$



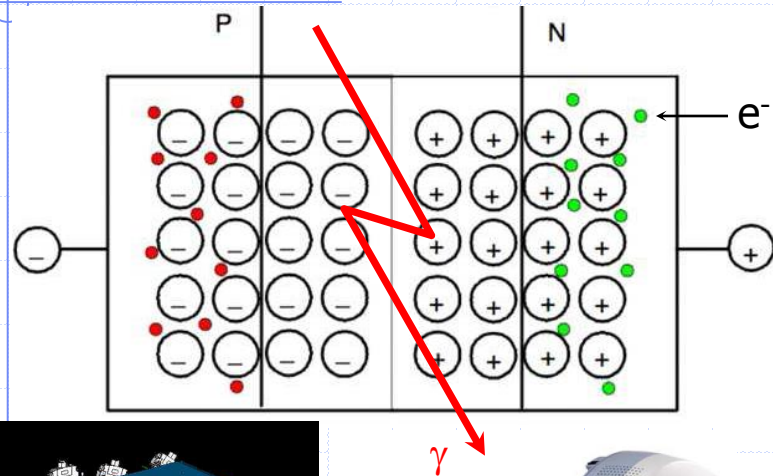
DETECTEURS ANGER DE γ



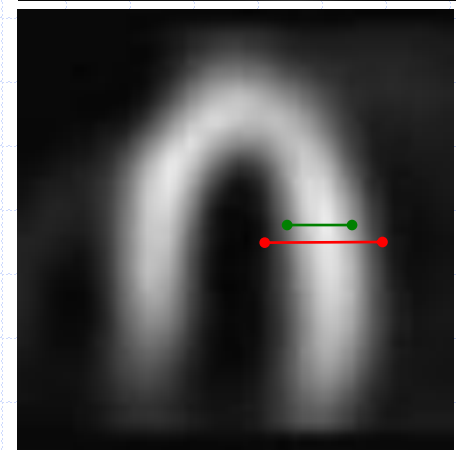
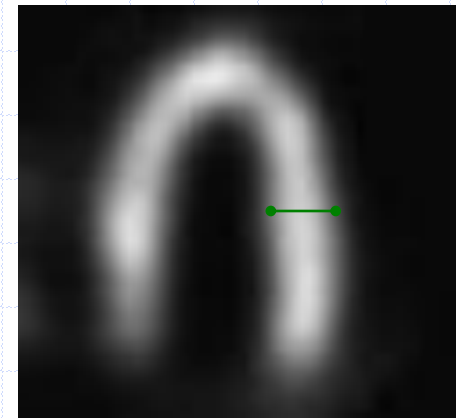
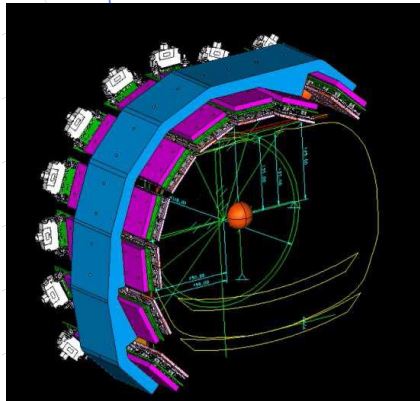
Spectroscopie

Localisation

DETECTEURS Cadmium Zinc Telluride

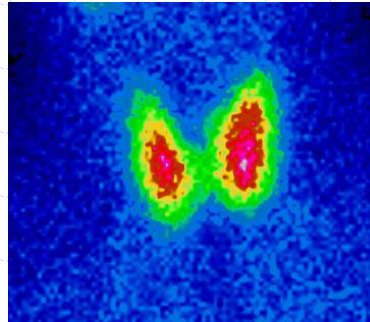


SENSIBILITE x 5-10
RESOLUTION x 2

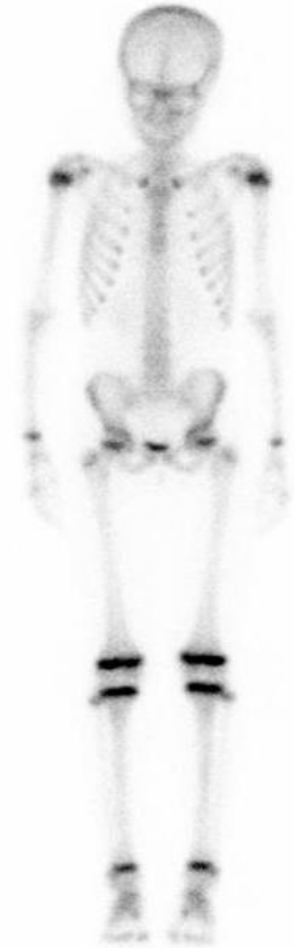


MODES D'ACQUISITION

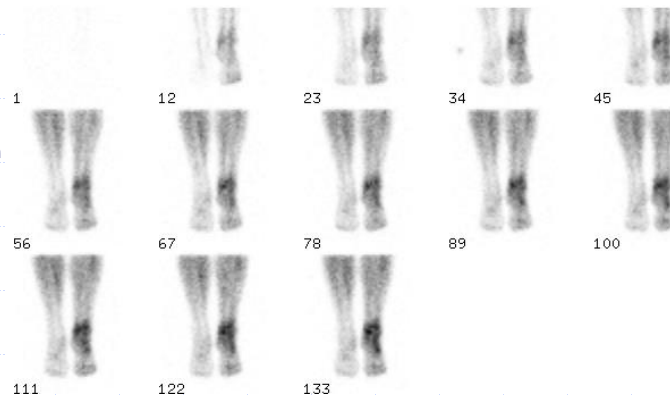
- Planaire
 - 5'



- Balayage corps entier
 - 15'

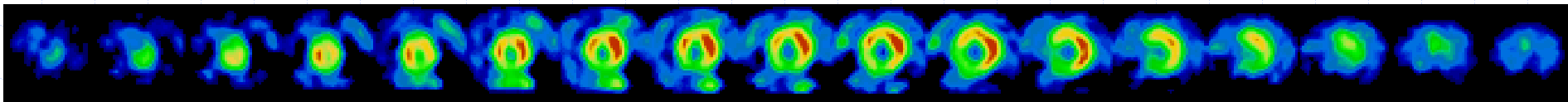
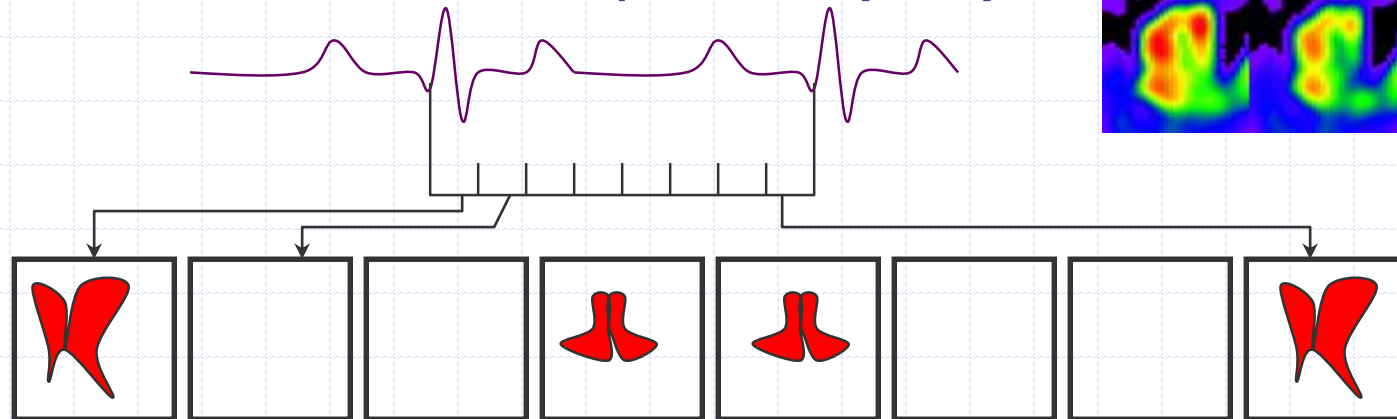
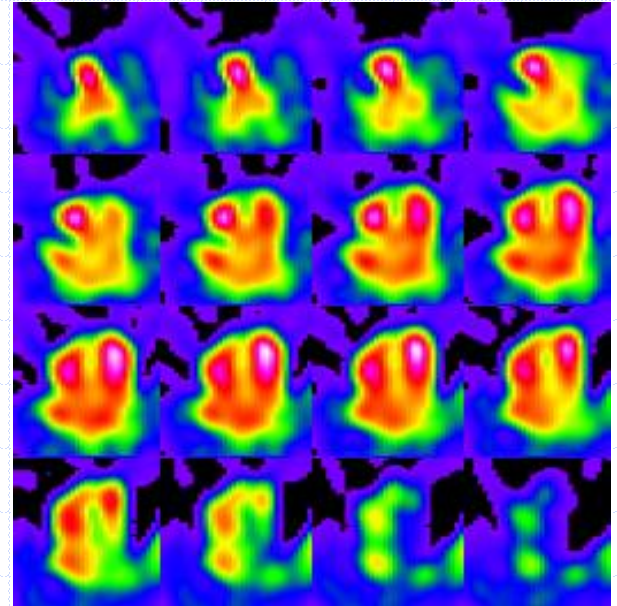


- Dynamique
 - ◆ 1'



MODES D'ACQUISITION

- Tomographique
- Synchronisé à l'ECG
 - ♦ ou à la respiration (TEP)

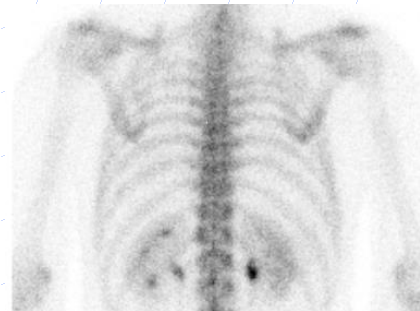
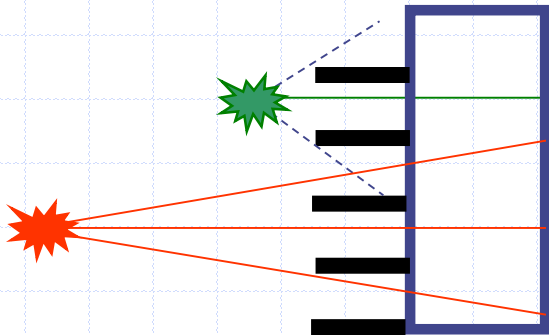
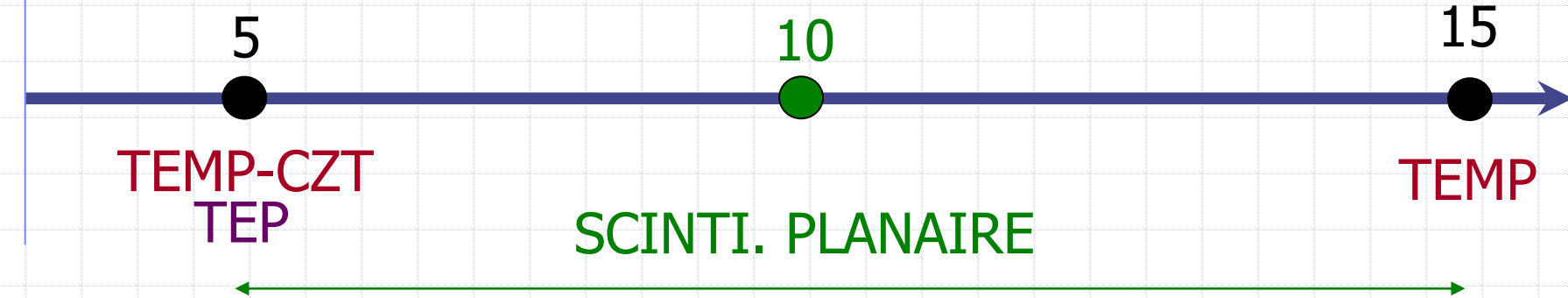


ARTEFACTS D'ACQUISITION

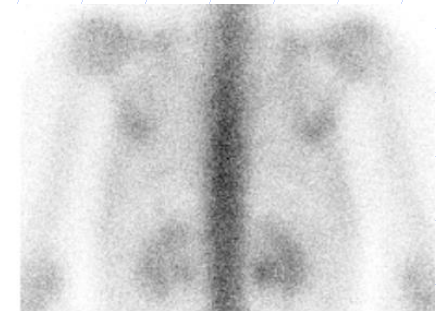
- Résolution et effet de volume partiel
 - Possibilité de corriger en partie la réponse impulsionnelle par traitement du signal
- Atténuations
 - par absorption photo-électrique
 - par diffusion Compton
- Coïncidences fortuites (TEP seulement)

RESOLUTION

- Ordres de grandeur des LMH (mm)



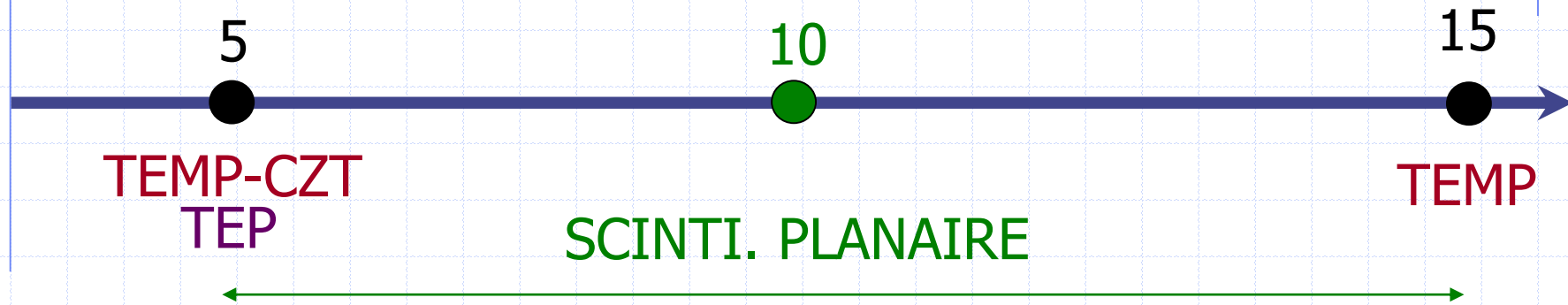
contact



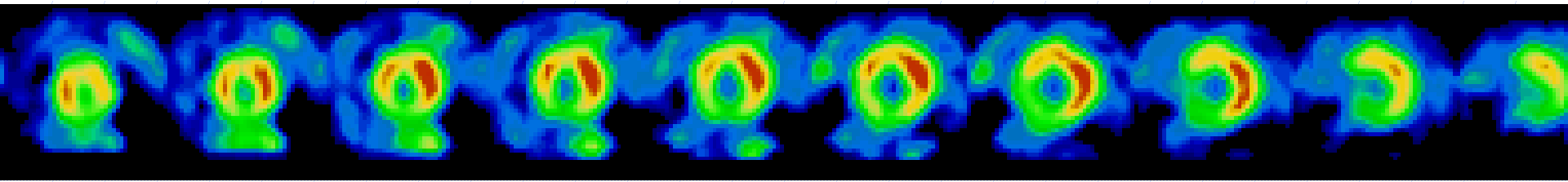
50 cm

EFFET DE VOLUME PARTIEL

- Ordres de grandeur des LMH (mm)



- Activité maximale sous estimée pour des objets de dimension d si $d < 2.LMH$
 - donc si $d < 1 \text{ cm}$ en TEP-CZT et si $d < 3 \text{ cm}$ TEMP



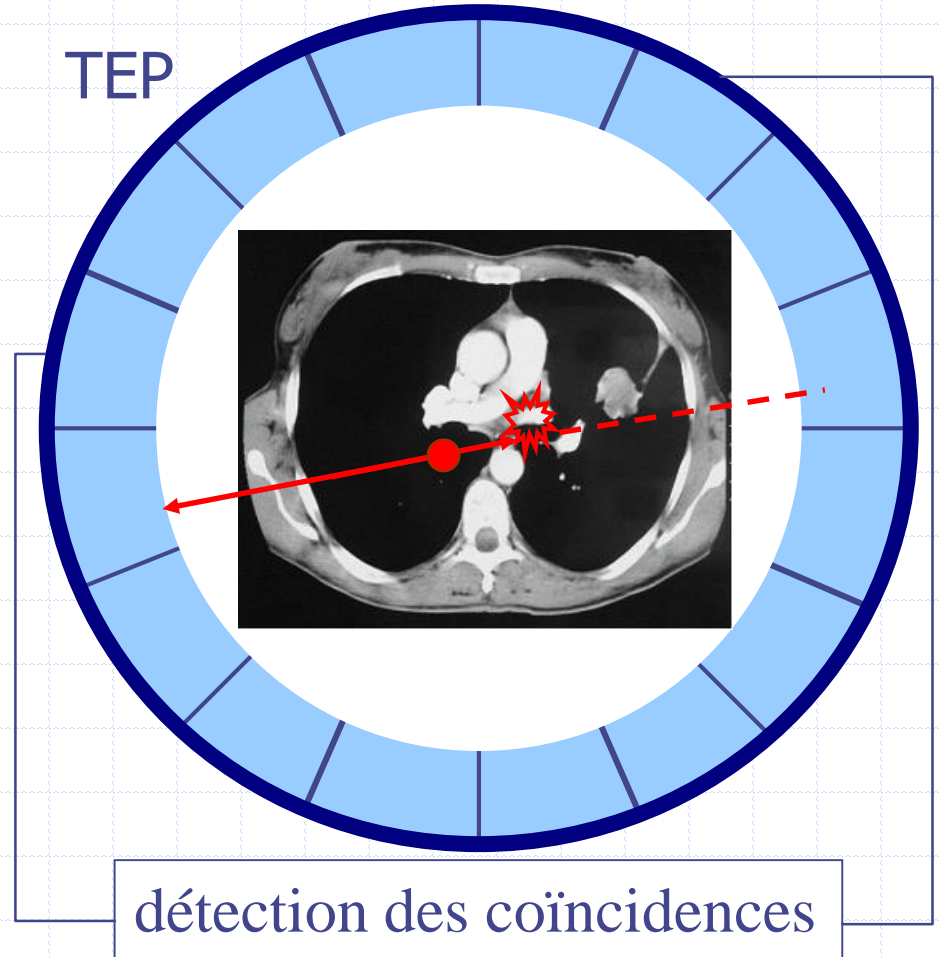
ATTENUATION PHOTO-ELECTRIQUE

TEMP



$$\mu_{PE} \approx k \frac{Z^3}{E^3} \rho$$

TEP



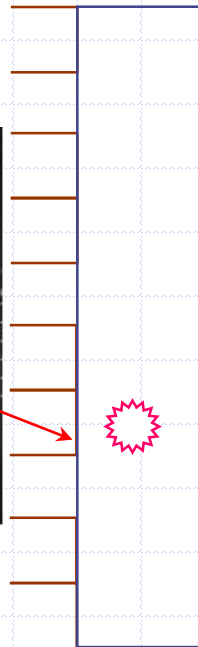
Mineur par rapport à l'atténuation Compton à 70-511 keV en biologie

ATTENUATION COMPTON

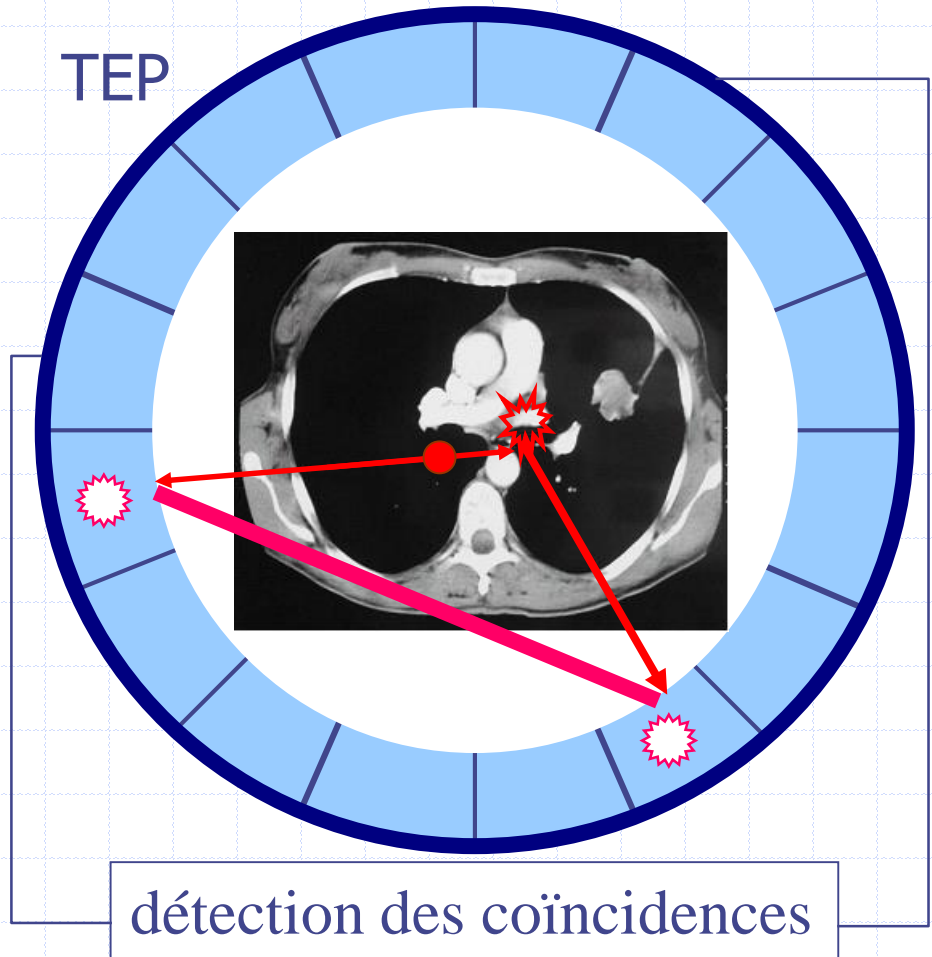
TEMP



$$\mu_c \approx k' \rho$$



TEP



Mode d'atténuation **majeur** à 70-511 keV en biologie

ATTENUATIONS

E (keV)	CDA _{eau} (cm)
70	3
511	7

Flou

Sous-estimation
des activités profondes

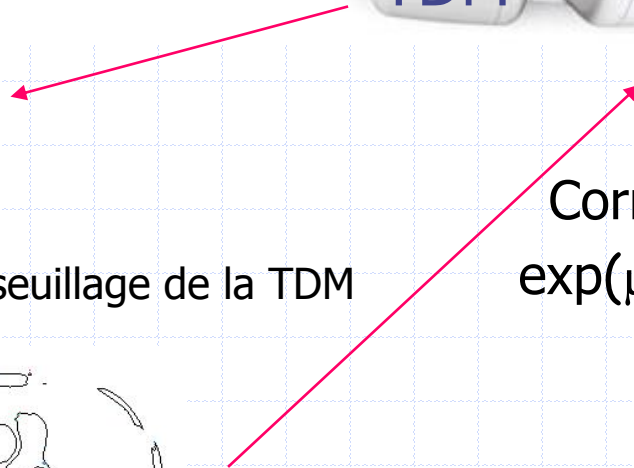
$$\left. \begin{aligned} \mu_C &\approx k' \rho \\ \mu_{PE} &\approx k \frac{Z^3}{E^3} \rho \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{La correction} \\ \text{nécessite la} \\ \text{connaissance} \\ \text{des } \rho \text{ traversés} \end{array}$$



CORRECTION DE L'ATTENUATION



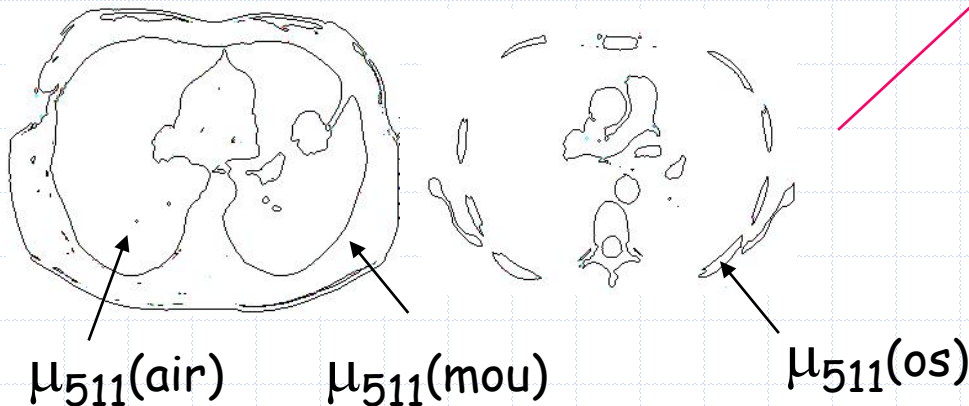
imagerie multi-modale



Correction par un facteur
 $\exp(\mu_{os}x_{os} + \mu_{mou}x_{mou} + \mu_{air}x_{air})$

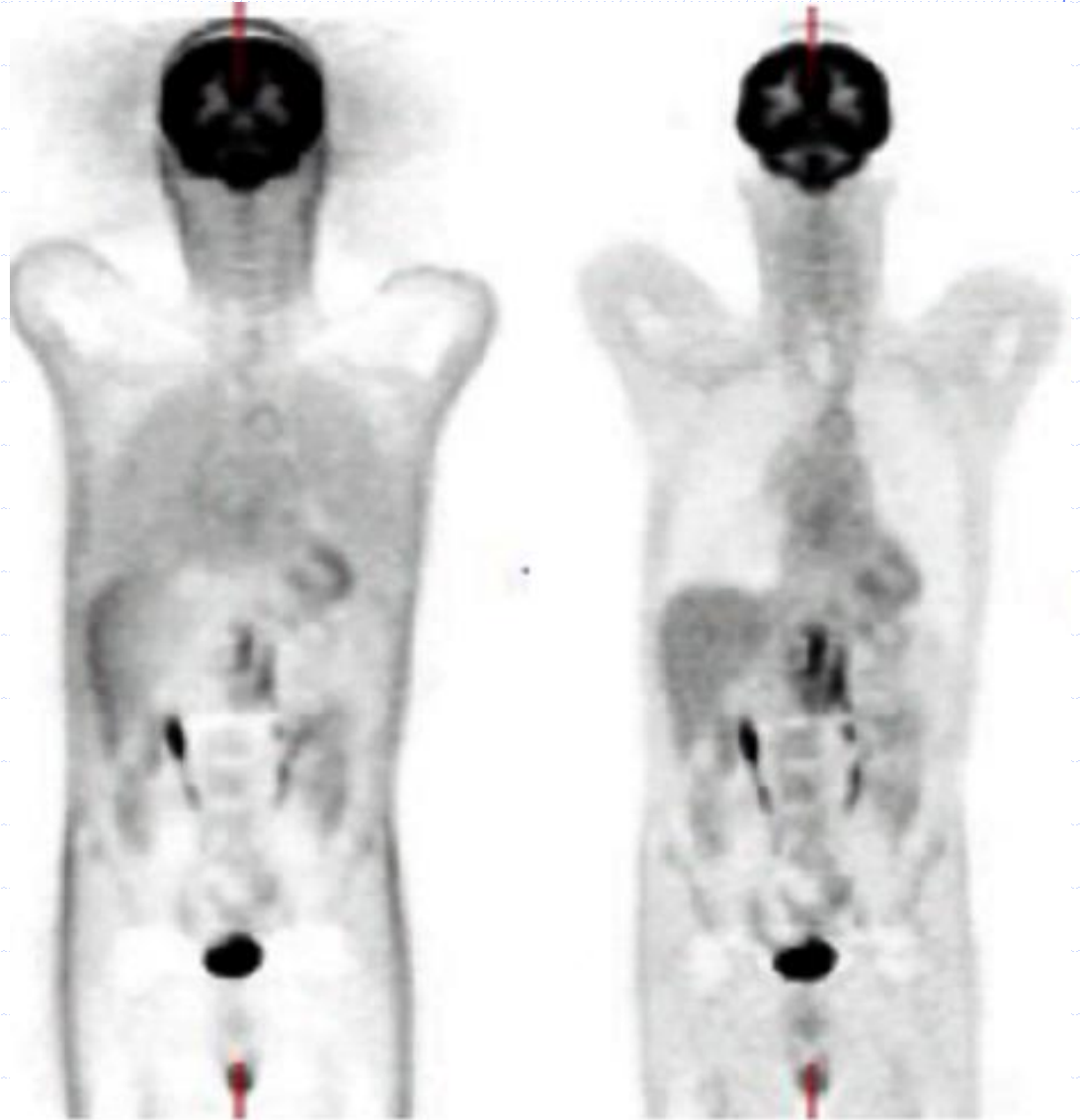
Plus facile à mettre en œuvre
(donc plus précise) en TEP qu'en TEMP

Identification de 3 phases par seuillage de la TDM



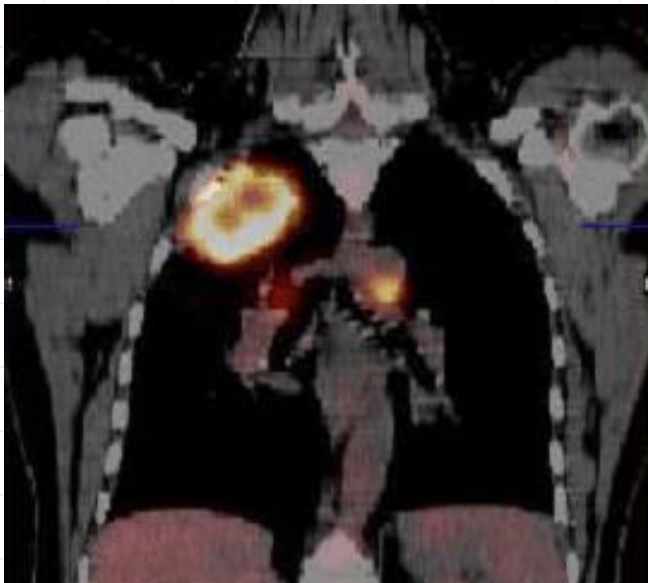
RESULTATS

- **Correction d'artefacts**



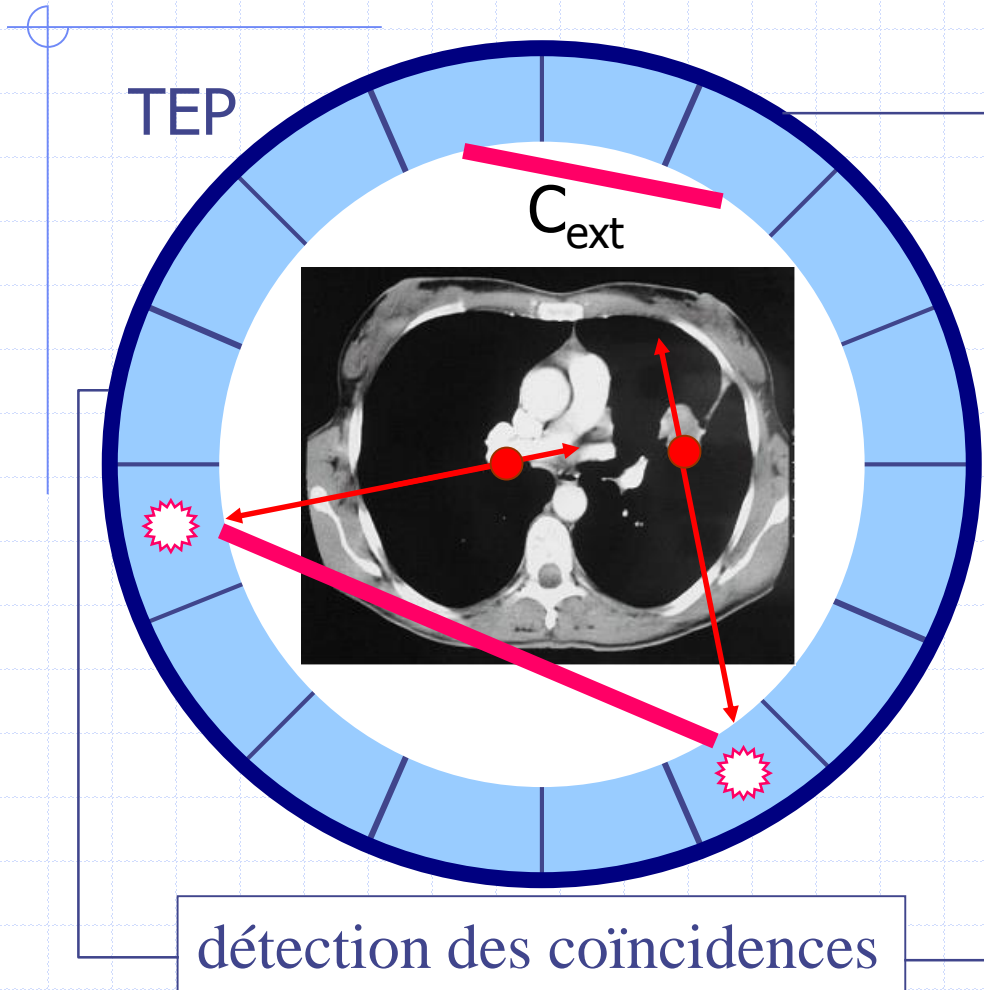
RESULTATS

- **Correction d'artefacts**
- **Localisation anatomique**



- **Interprétation multimodale**

COINCIDENCES FORTUITES



Corrections possibles :

- 1- en retranchant C_{ext}
- 2- A partir des comptages totaux T :
$$F = 2 \cdot \tau \cdot T(d1)T(d2) \propto A^2$$
- 3- Par fenêtre décalée

Cet artefact ne concerne que l'imagerie en coïncidence TEP

SYNTHESE 2

- Détecteurs de γ : Anger et CZT
- Modes d'acquisition :
 - Planaire, dynamique, corps-entier,
 - tomographique, synchronisé
- Importance de l'effet de volume partiel
 - Détecteur proche du patient
 - Sous estimation de l'activité des petites structures
- Couplage à une TDM (scanner X) :
 - Pour correction des artefacts d'atténuation
 - Pour localisation anatomique
 - Pour interprétation multimodale

SYNTHESE 2 bis

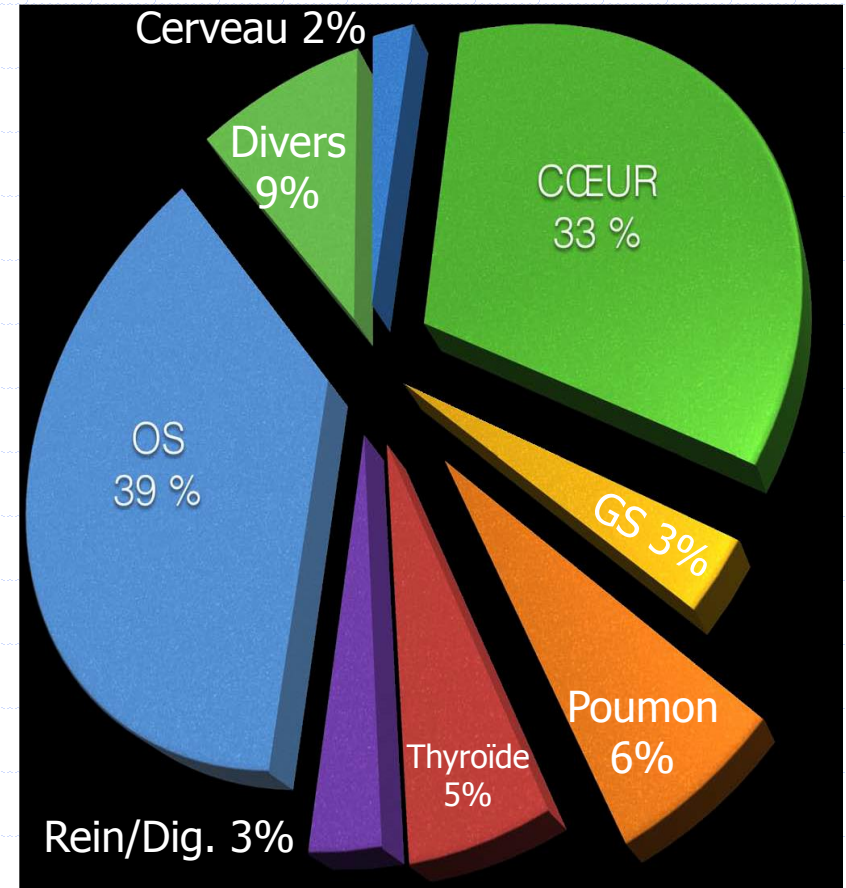
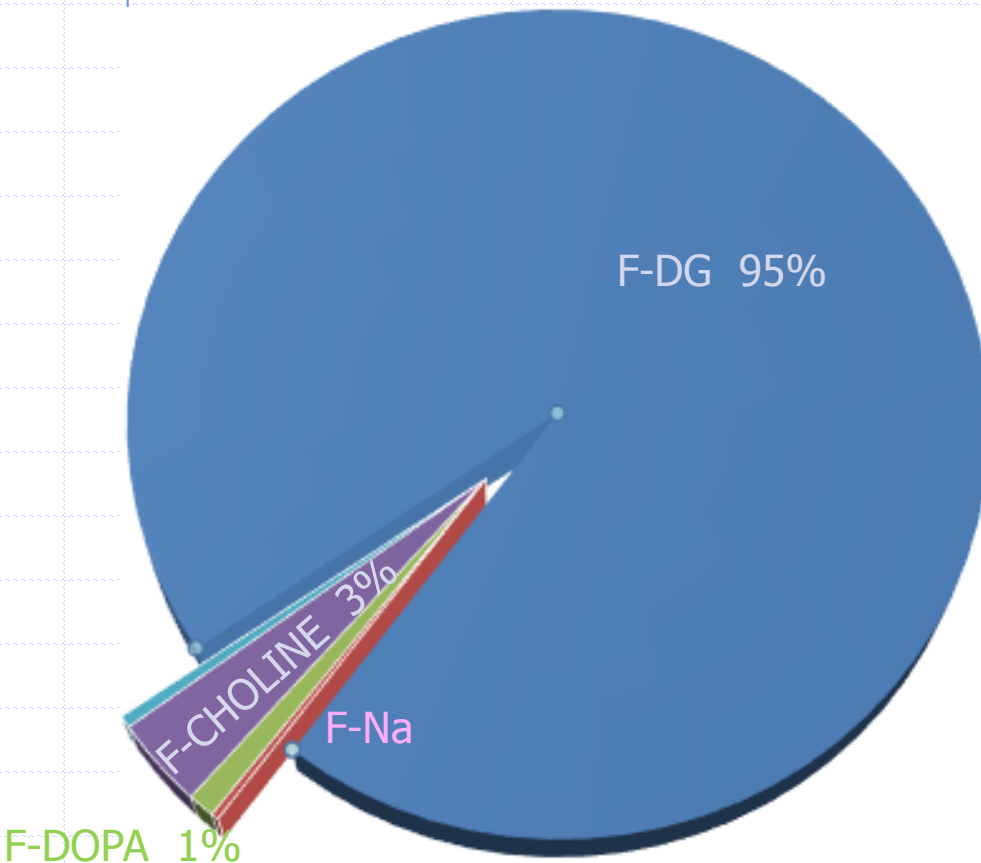
	TEMP γ	TEMP-CZT γ	TEP β^+
Marqueur	A \uparrow T \approx h	A \uparrow T \approx h	A \downarrow T \approx min
Marquage	<i>complexe</i> $^{99}_{43}\text{Tc}$	<i>complexe</i> $^{99}_{43}\text{Tc}$	$^{18}_9\text{F}$
Nb. traceurs	$\uparrow\uparrow$	$\uparrow\uparrow$	\uparrow
Images	2D, 3D, \pm CA, TDM	3D, \pm CA, TDM	3D, CA, TDM
Résolution	10 mm	5 mm	5 mm
Sensibilité	\uparrow	$\uparrow\uparrow$	$\uparrow\uparrow$
Quantification	relative	relative \pm absolue	absolue
Irradiation	1-20 mSv	1-20 mSv	1-20 mSv

Exemple de scintigraphies diagnostiques

Os, thyroïde, cœur, poumon, rein,
cerveau, cancers, infections...

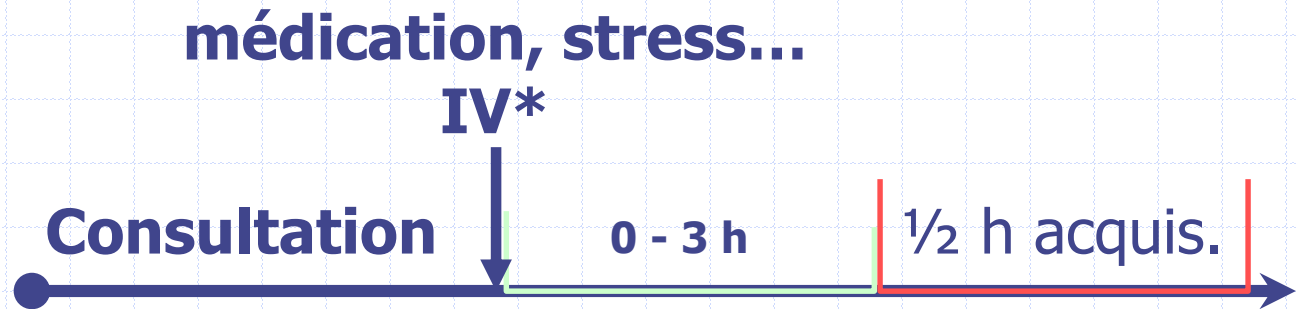
SCINTIGRAPHIES FREQUENTES

France, 2015: 10^6 SPECT + 335 000 TEP (33 10^6 monde)

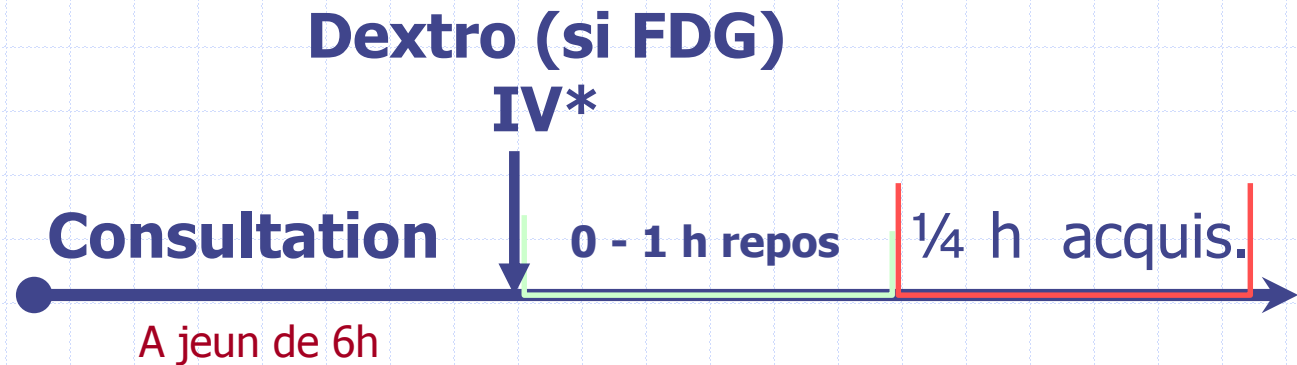


DEROULEMENT D'UN EXAMEN

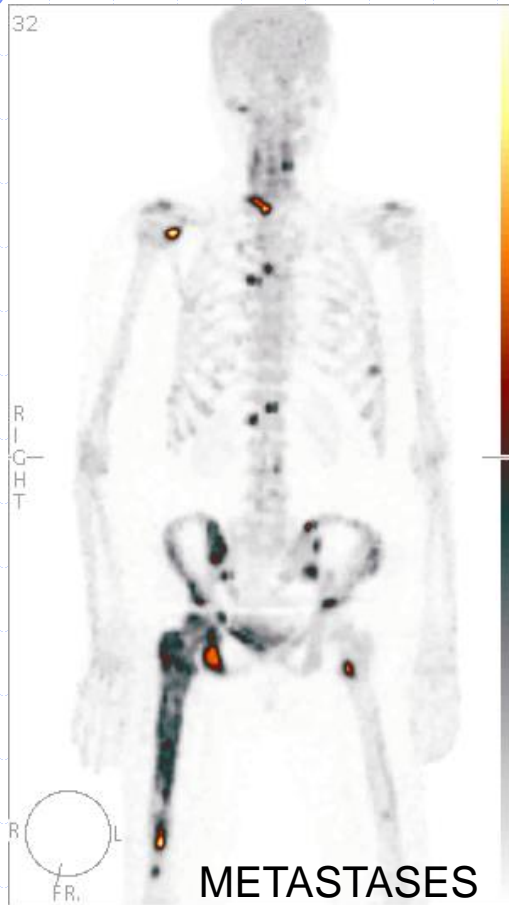
TEMP



TEP



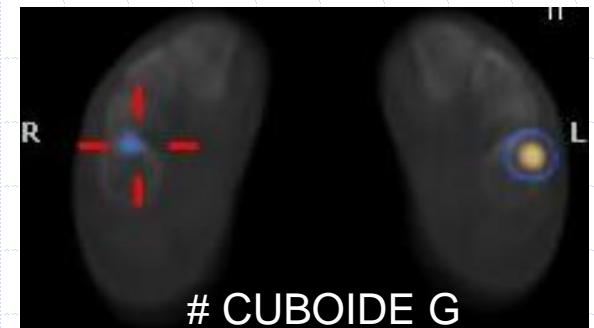
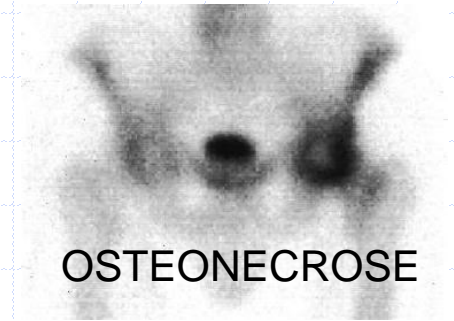
REMODELLEMENT OSSEUX



BIPHOSPHONATE- ^{99m}Tc



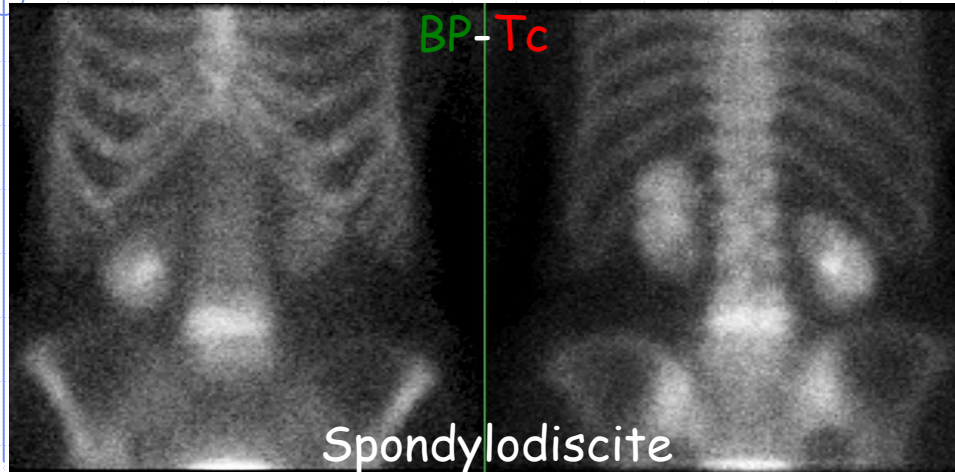
^{18}F -Na



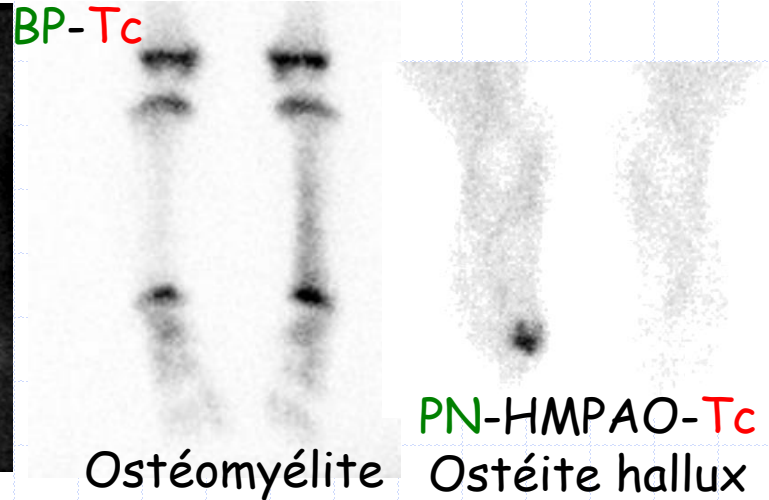
BIPHOSPHONATE- ^{99m}Tc

Indications: fracture, algodystrophie, tumeur, infection, nécrose, arthrite...

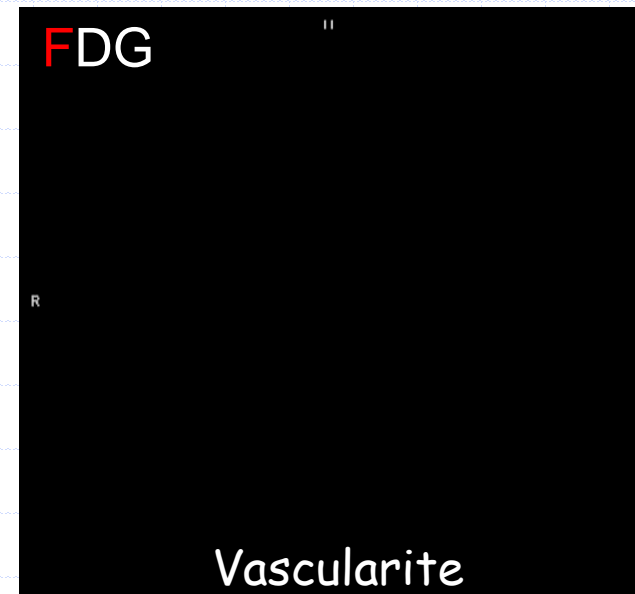
INFECTIONS et INFLAMMATIONS



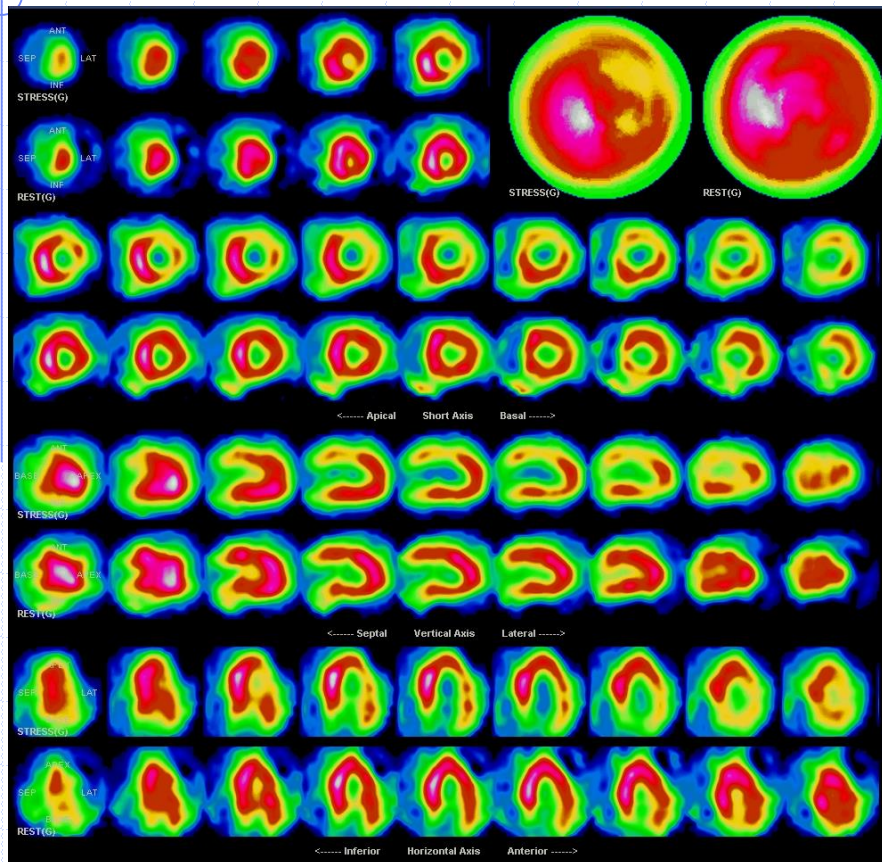
SAGITTAL



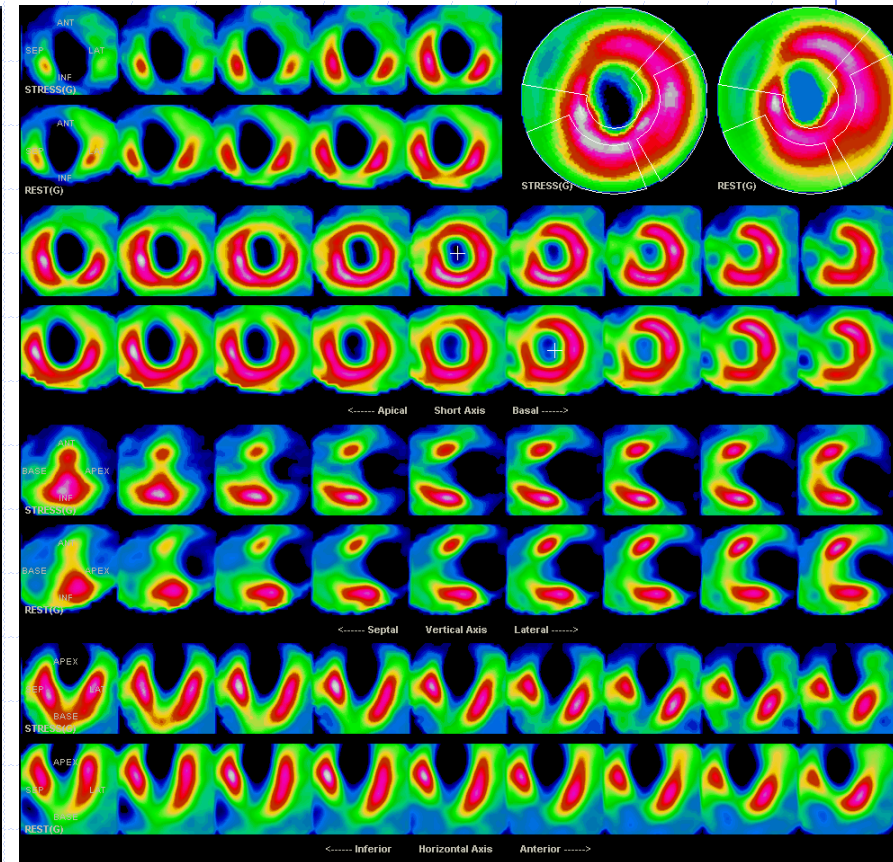
Infection VCS sur cathéter



PERFUSION MYOCARDIQUE



ISCHEMIE ANTERO-LATERALE

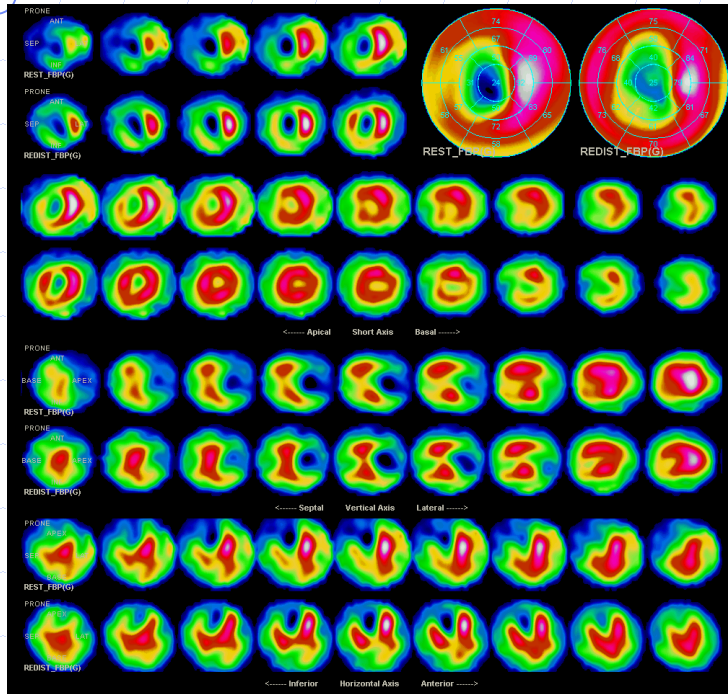


NECROSE APICALE

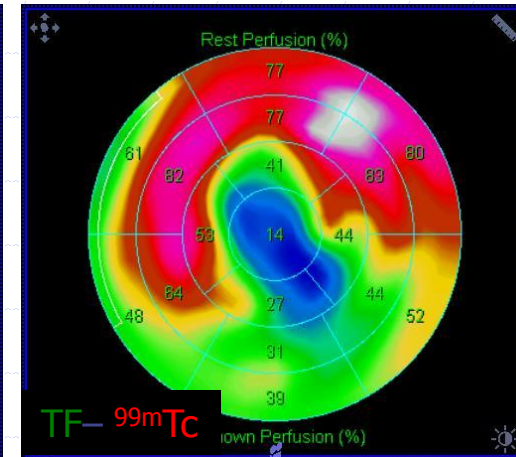
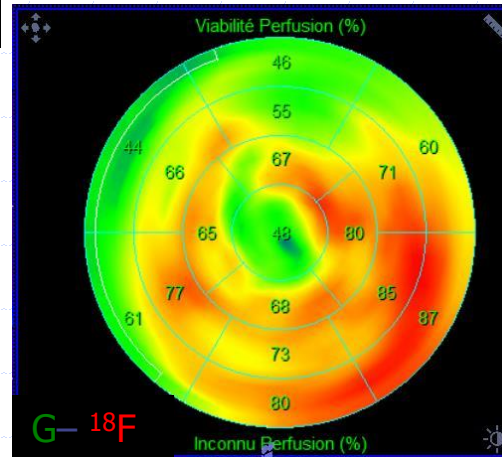
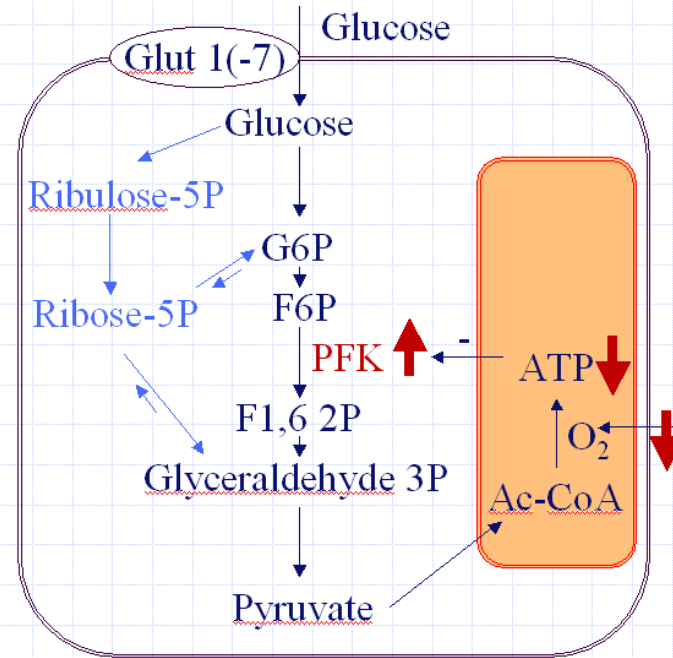
Traceurs de perfusion myocardique: **CATION LIPOPHILE** – ^{99m}Tc ou ^{201}Tl

Indications : coronaropathies

VIABILITE MYOCARDIQUE

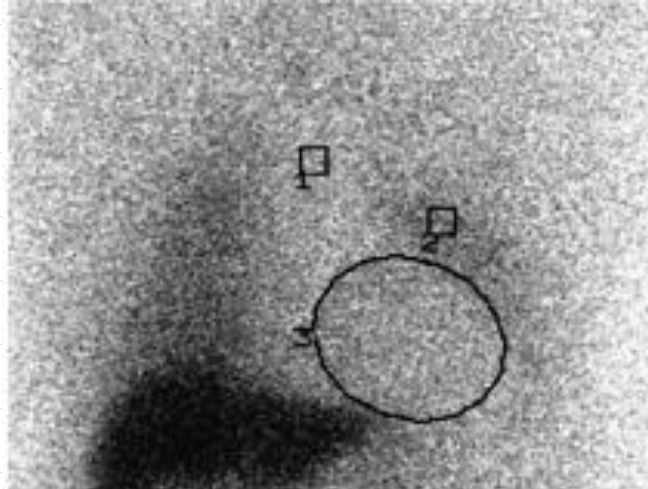
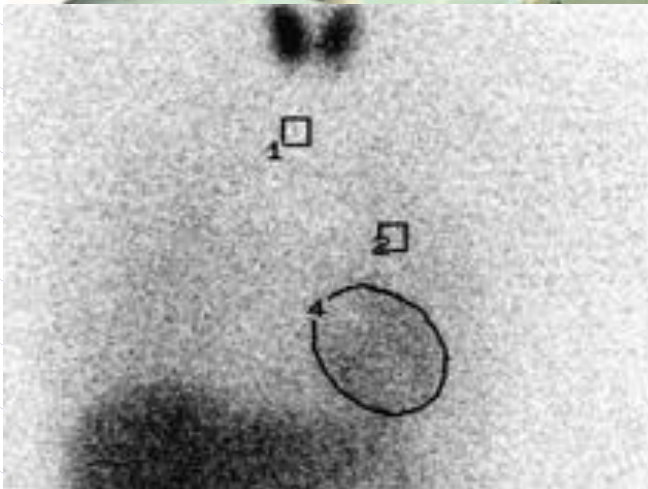
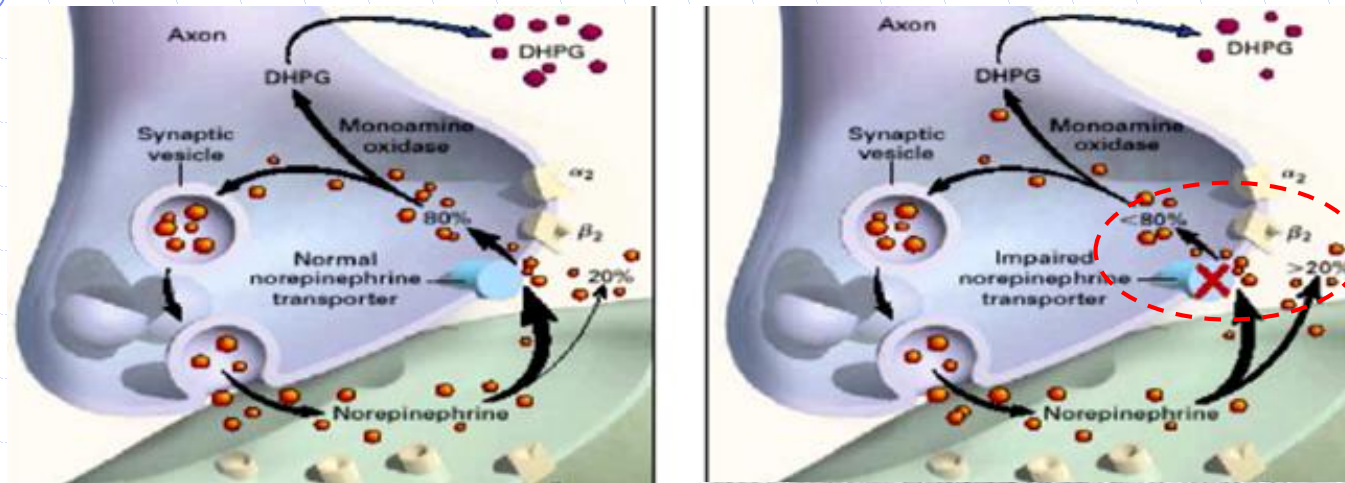


²⁰¹Tl: Repos / Redistribution à 3h



Traceurs d'ischémie viable: Glu - ¹⁸F

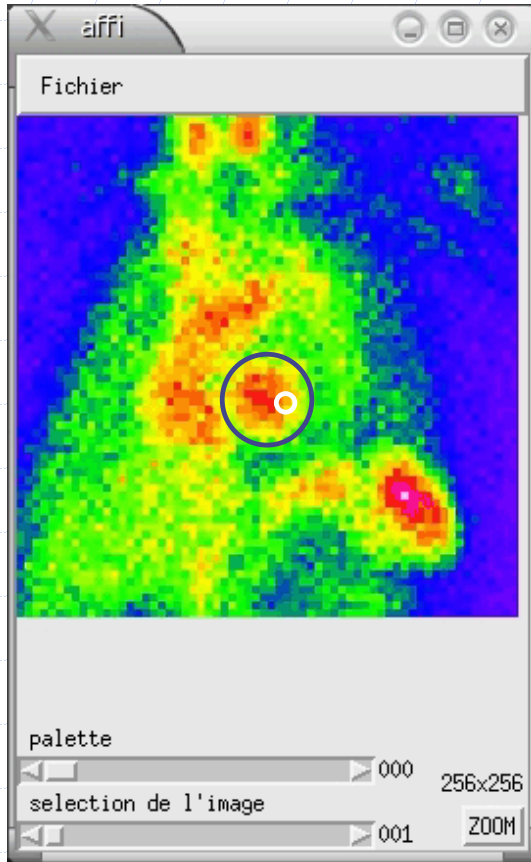
INNERVATION MYOCARDIQUE



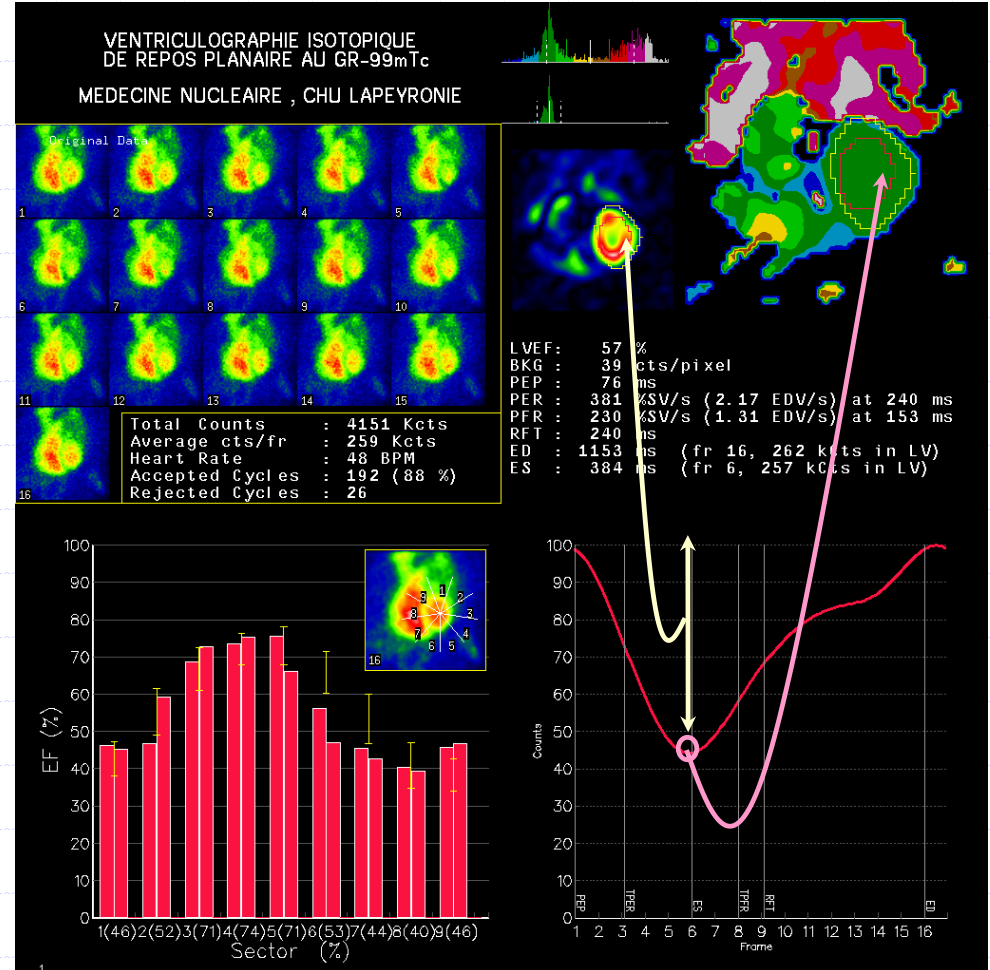
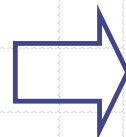
Indications : insuffisance cardiaque

MIBG - ¹²³I
Traceur des neurones adrénergiques viables

CONTRACTION CARDIAQUE

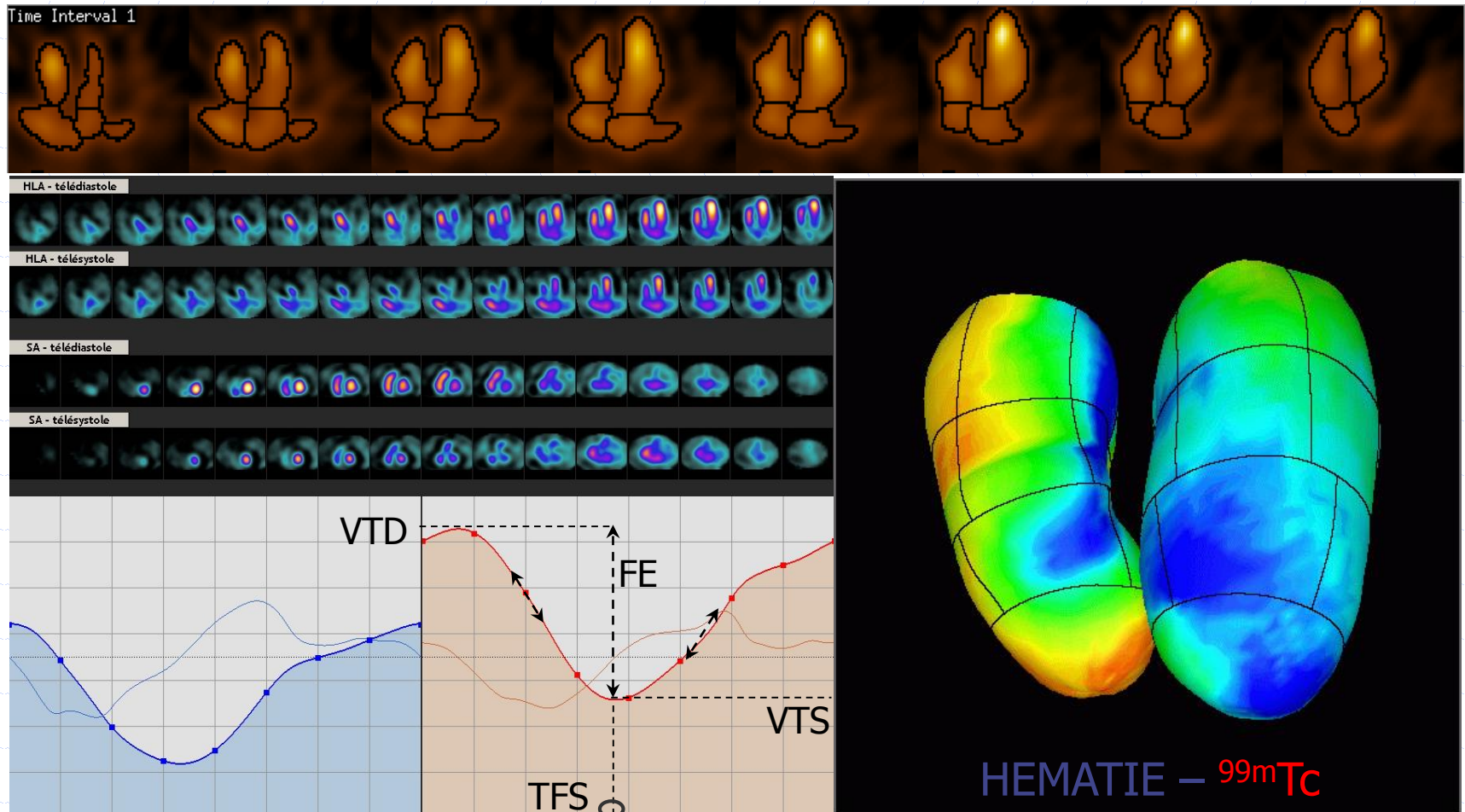


HEMATIE – ^{99m}Tc
 Traceur du volume
 sanguin



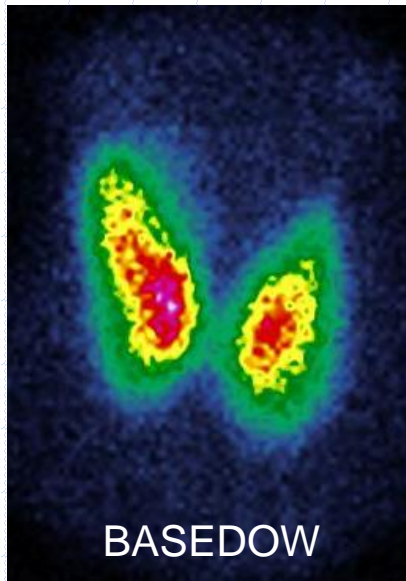
Indications : insuffisance cardiaque

CONTRACTION CARDIAQUE

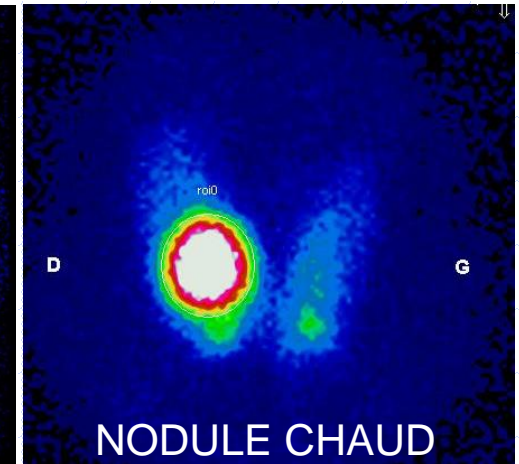
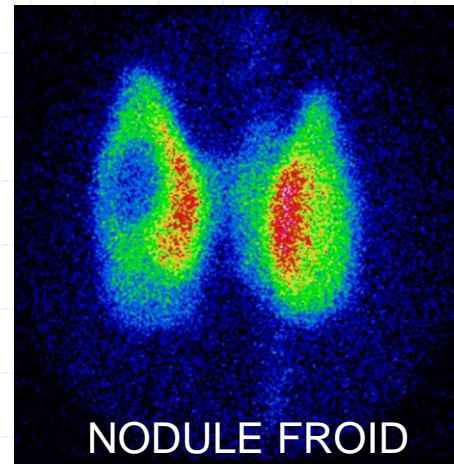


Indications : insuffisance cardiaque

NODULES THYROIDIENS



$^{99m}\text{Tc} - \text{O}_4^-$
Traceur thyroïdien



cancer \Rightarrow froid
chaud \Rightarrow bénin

mais une ponction
sous échographie
est plus efficace

Indications : hyperthyroïdie (iodo-induite, toxique, Basedow), bilan de goitre

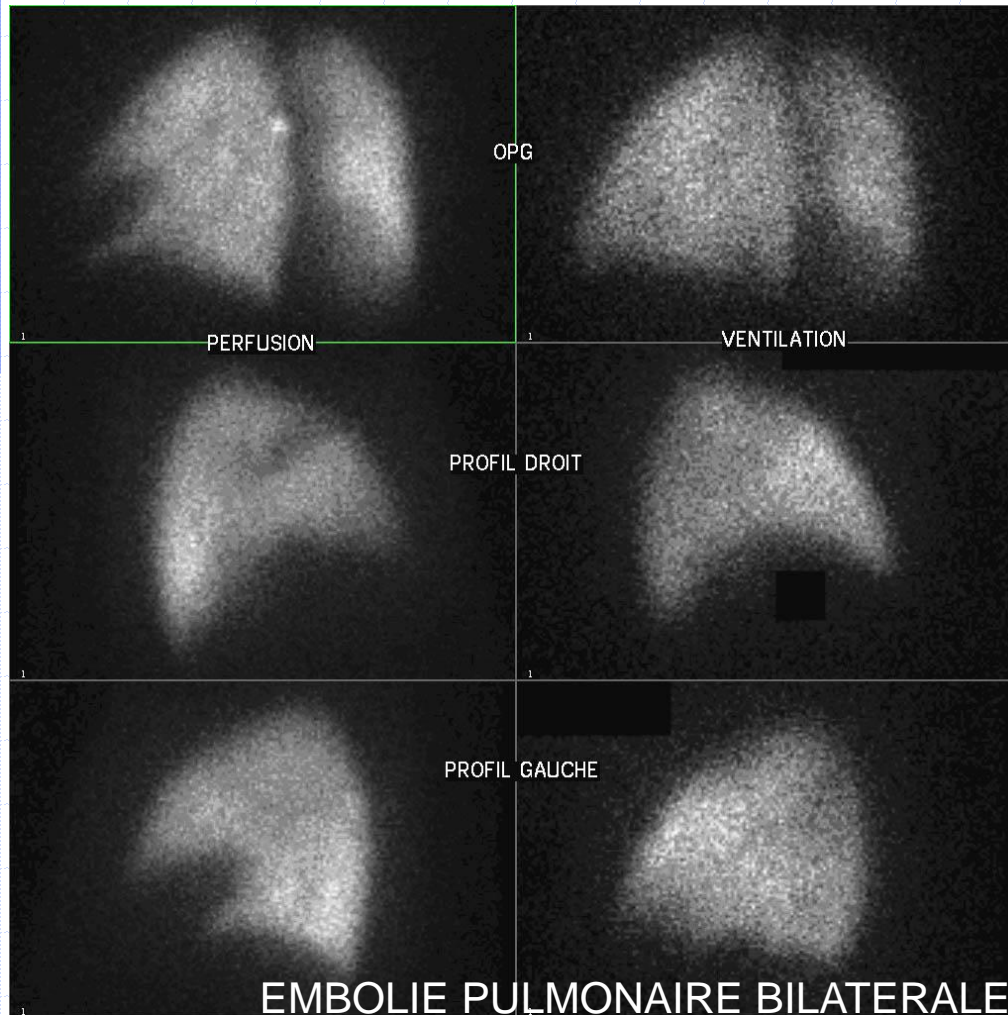
VENTILATION ET PERFUSION PULMONAIRES

PERFUSION

^{99m}Tc – Albumine

VENTILATION

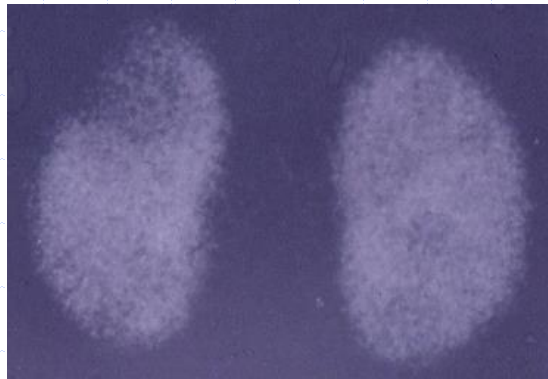
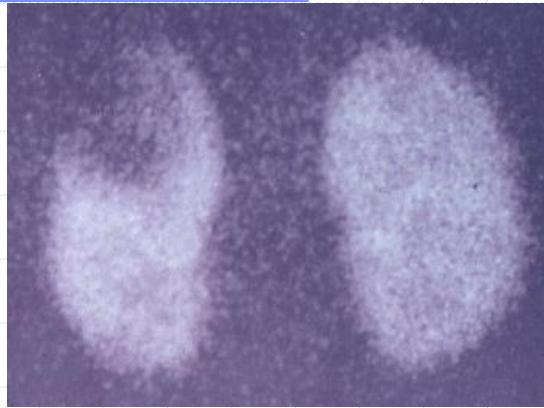
^{99m}Tc – C-Aérosol



Indications :

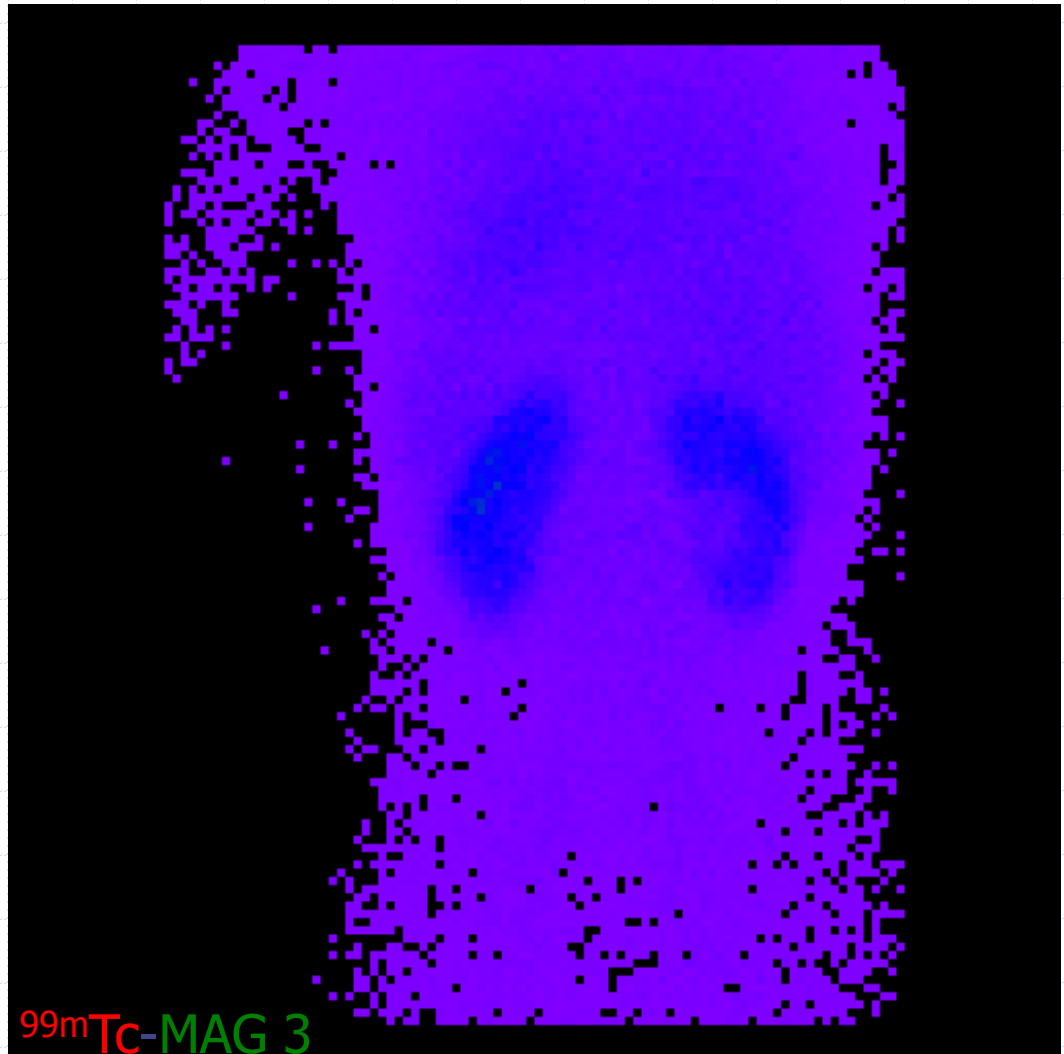
Embolie pulmonaire,
HTAP,
Pré-lobectomie,
Malformations

SCINTIGRAPHIES RENALES



^{99m}Tc -DMSA

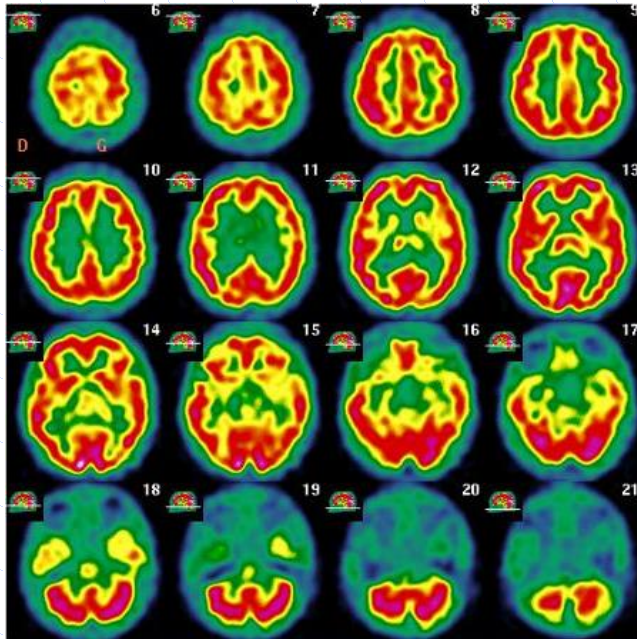
Traceurs de perfusion corticale fixés
(DMSA)
ou sécrétés dans l'urine (MAG3)



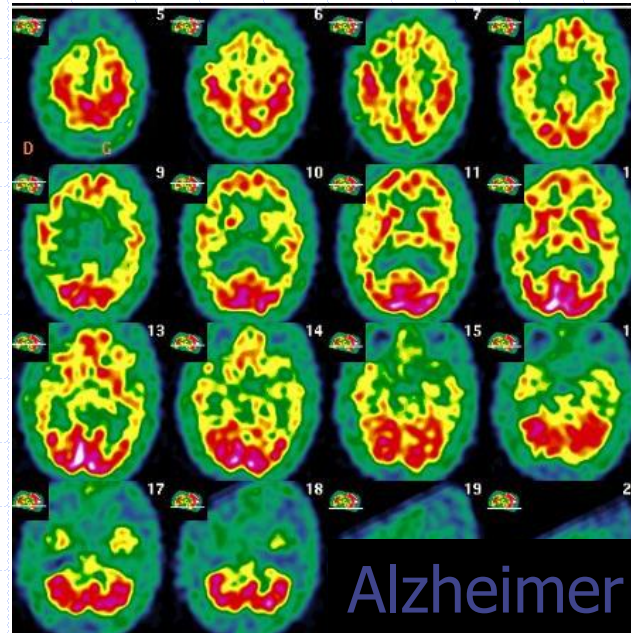
^{99m}Tc -MAG 3

Indications : Pyélonéphrites, obstacles, TA,...

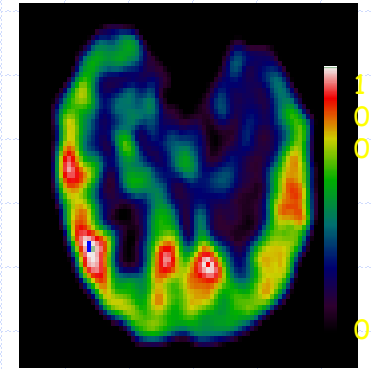
SCINTIGRAPHIES CEREBRALES



normal



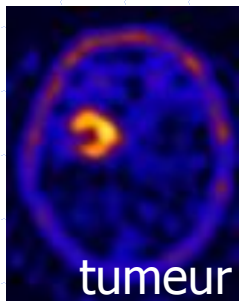
Alzheimer



EPILEPSIE

m99Tc-ECD

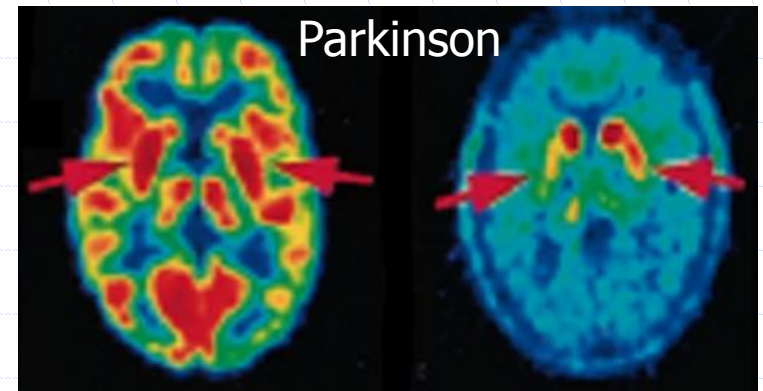
m99Tc-ECD ⇔ 18F-Glu



tumeur

201 Tl

Indications :
Démences, Parkinson
épilepsies, tumeurs.

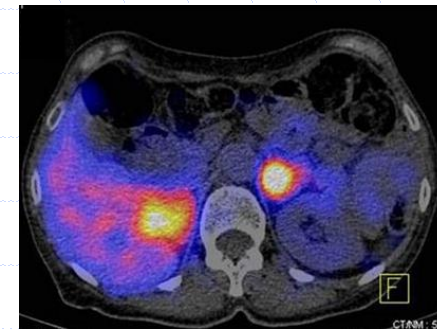
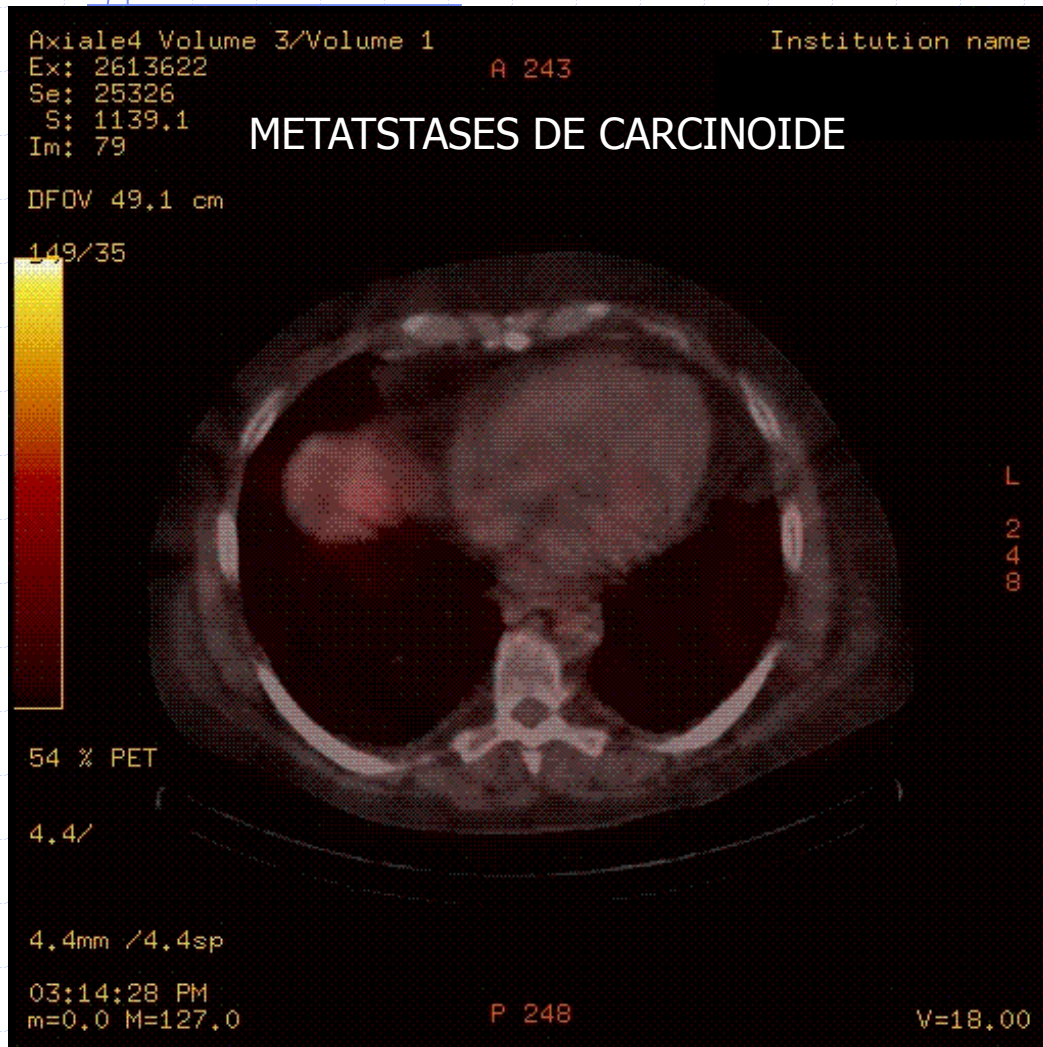


Parkinson

18F-DG

18F-DOPA

CANCERS TRES DIFFERENCIES



¹²³I -MIBG:

Traceur des cellules adrénériques:

Indications:

Phéochromocytome, para-gangliome

OCTREOTIDE - In 111 : Traceur des récepteurs à la somatostatine
 tumeurs neuroendocrines ou du tractus gastro-entero-pancréatiques

CANCERS TRES DIFFERENCIES



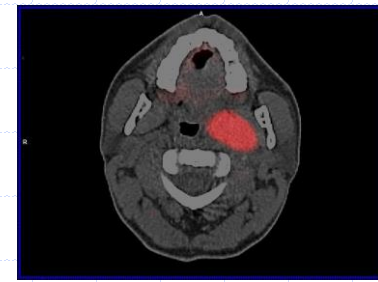
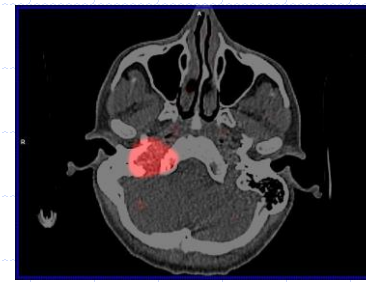
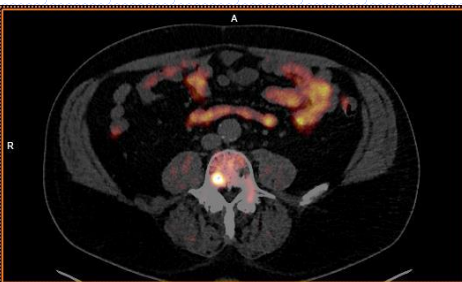
18F-CHOLINE

18F-CHOLINE: AA traceur de division cellulaire (Mb)
Récidives de cancers de prostate, foie,...

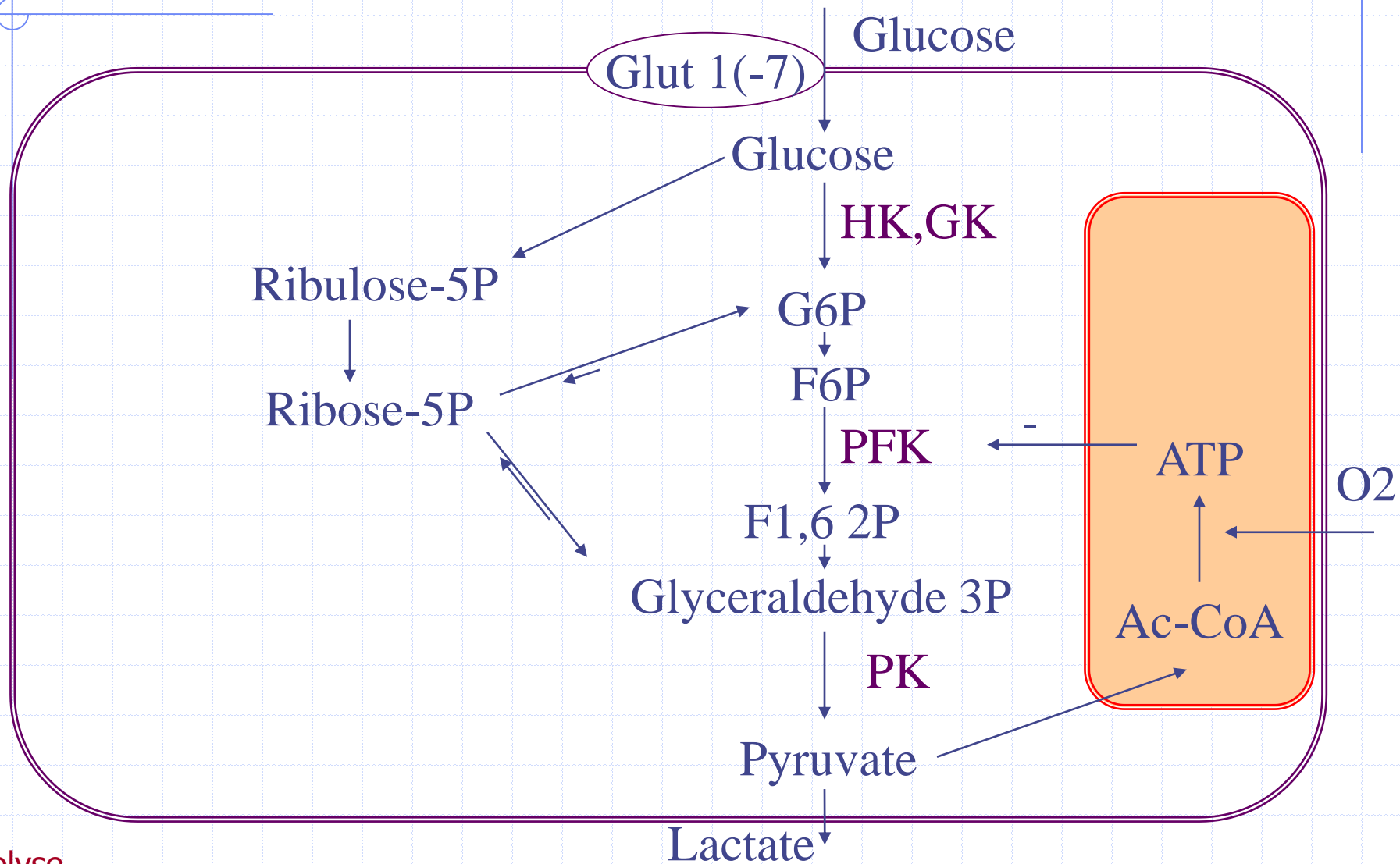


18F-FDOPA

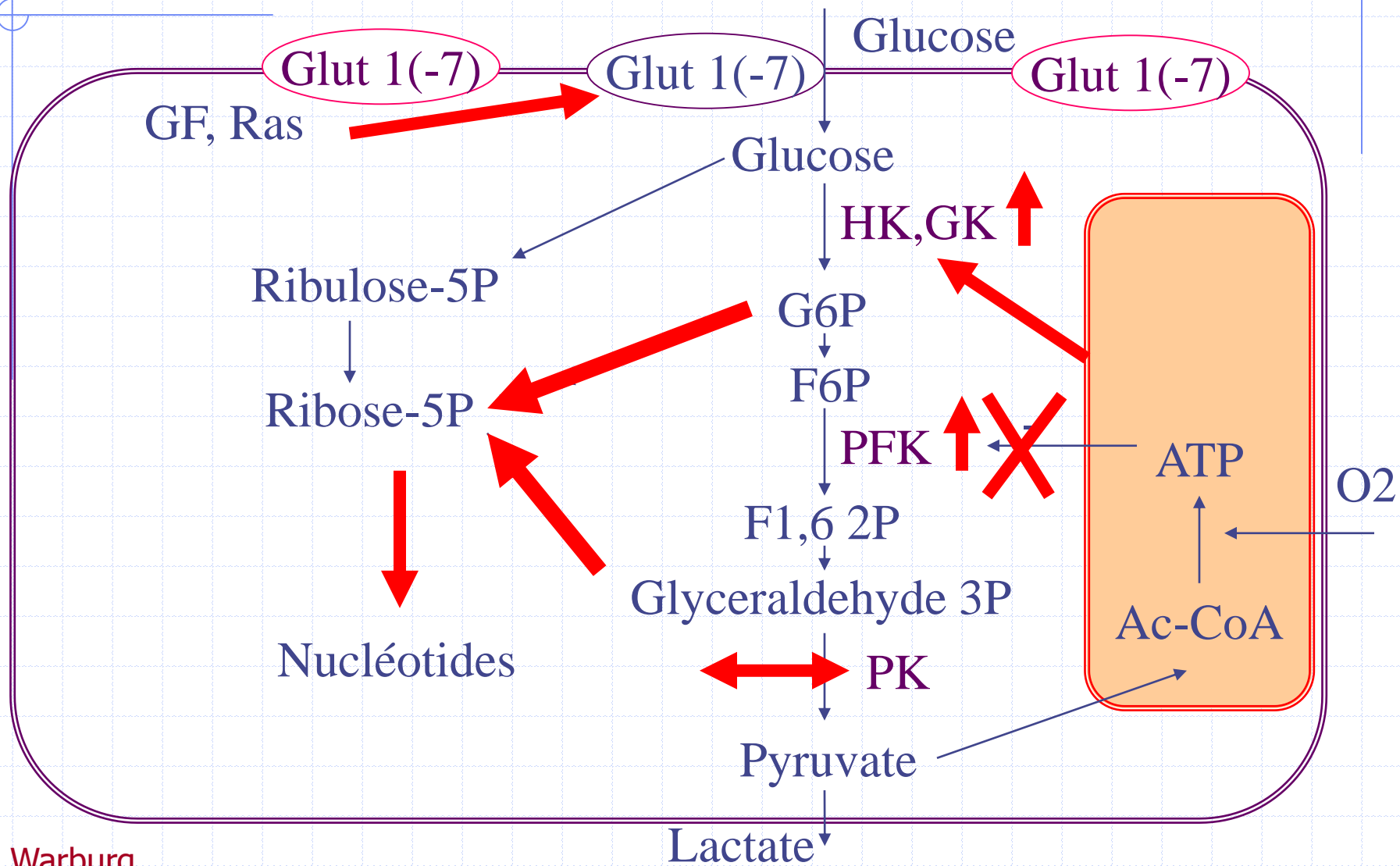
18F-DOPA : AA traçant le métabolisme de la DOPA
Paragangliomes, phéochromocytomes



CANCERS PEU DIFFERENCIES



METABOLISME CELLULAIRE DU GLUCOSE

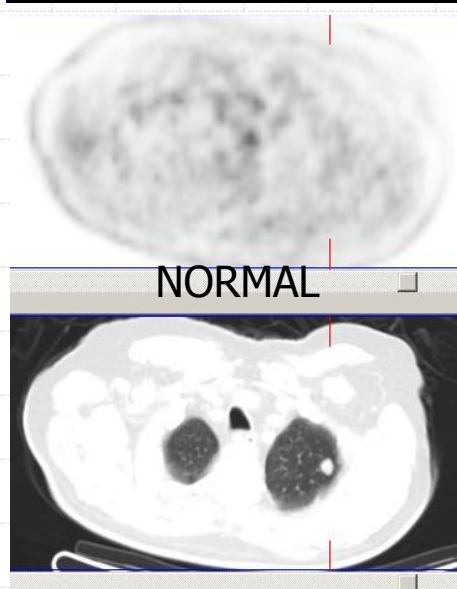
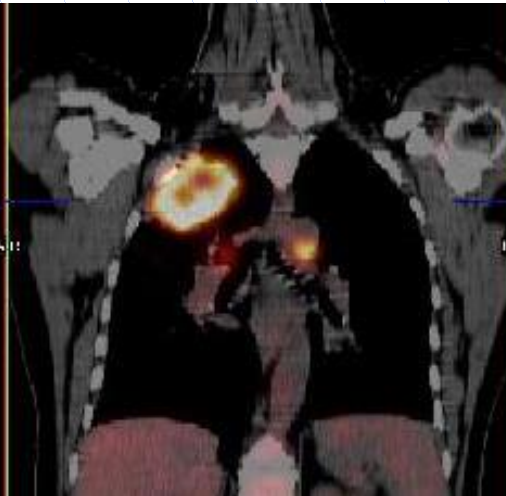
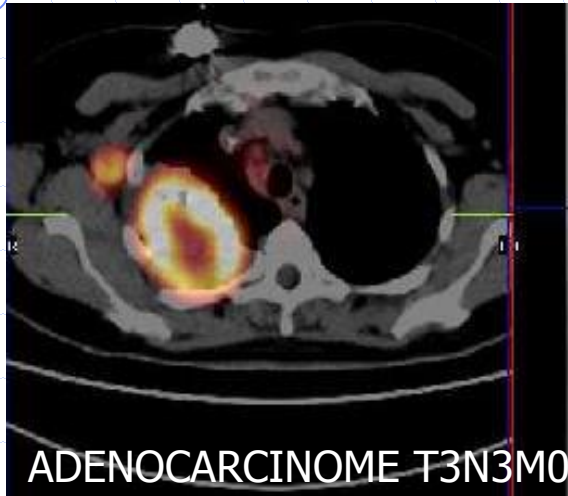


Métabolisme du ^{18}F FDG

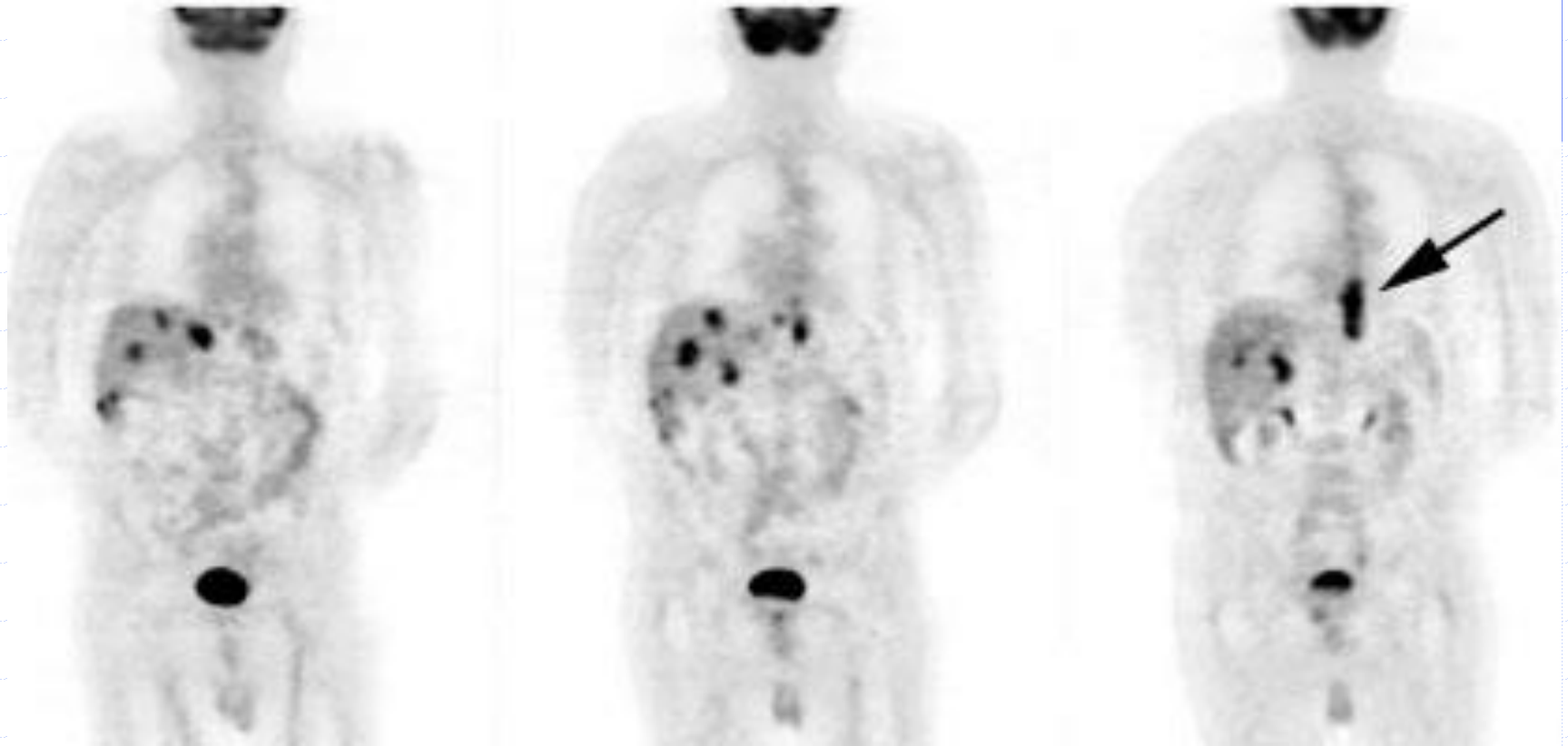
- Hyperfixation en cas de :
 - Cancer (peu différencié)
 - Hypoxie
 - Inflammation ou infection (risque de FP)
- Risque de faux négatifs si cancer :
 - très différencié, pauci-cellulaire
 - infra-centimétriques (volume partiel)
- Indications de la TEP- ^{18}F FDG :
 - **Diagnostic, bilan d'extension, suivi de cancers**
 - Pleuro-pulmonaires, lymphomes, ORL, mélanome, digestifs, thyroïde, sarcome, gynécologique, sarcome; Suivi 3 mois après radioT., 3 semaines post chimioT
 - **Cardiologie** (viabilité), **neurologie** (démences, épilepsie), **infection/inflammation** (fièvres, vascularites,...)



EXEMPLES DE TEP ^{18}F FDG

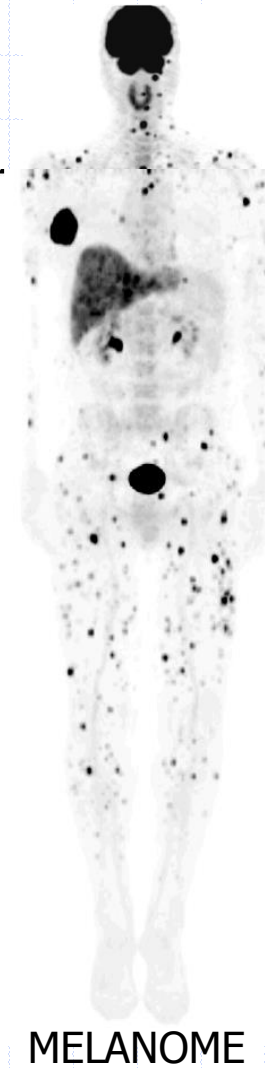
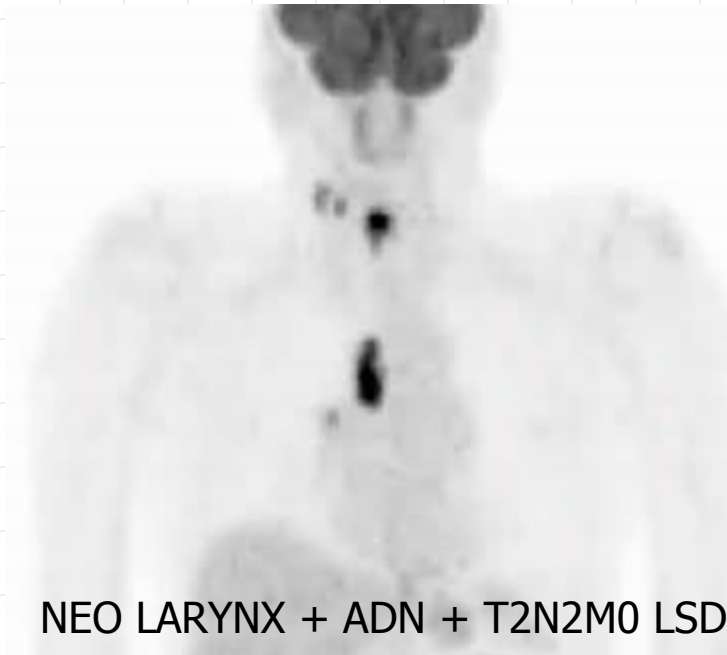
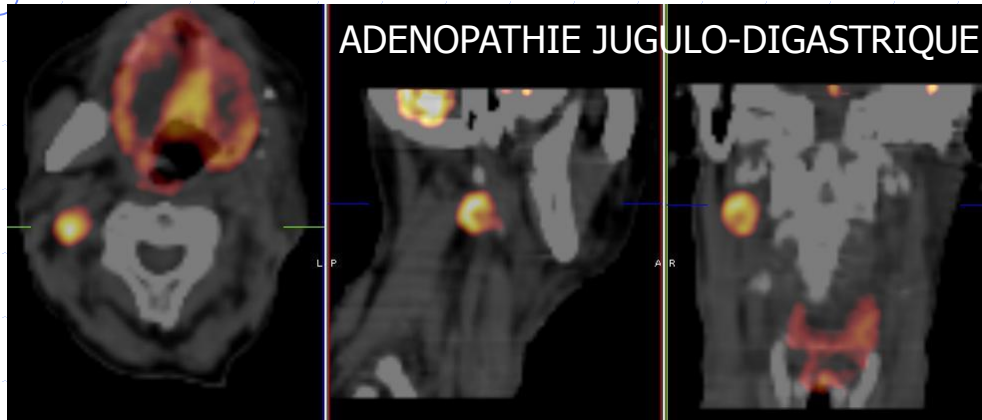


EXEMPLES DE TEP ^{18}F FDG

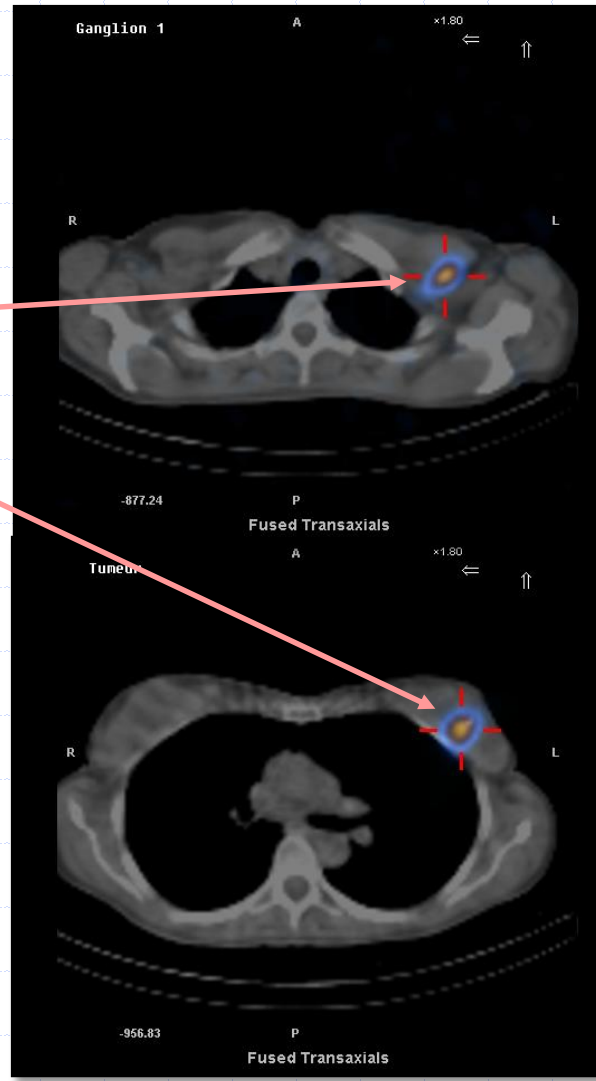
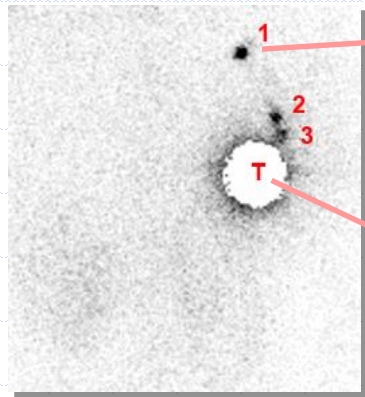


METASTASES HEPATIQUES D'UN CANCER DE L'OESOPHAGE

EXEMPLES DE TEP ^{18}F FDG



DETECTION PEROPERATOIRE



^{99m}Tc -nanocolloïde



SYNTHESE 3

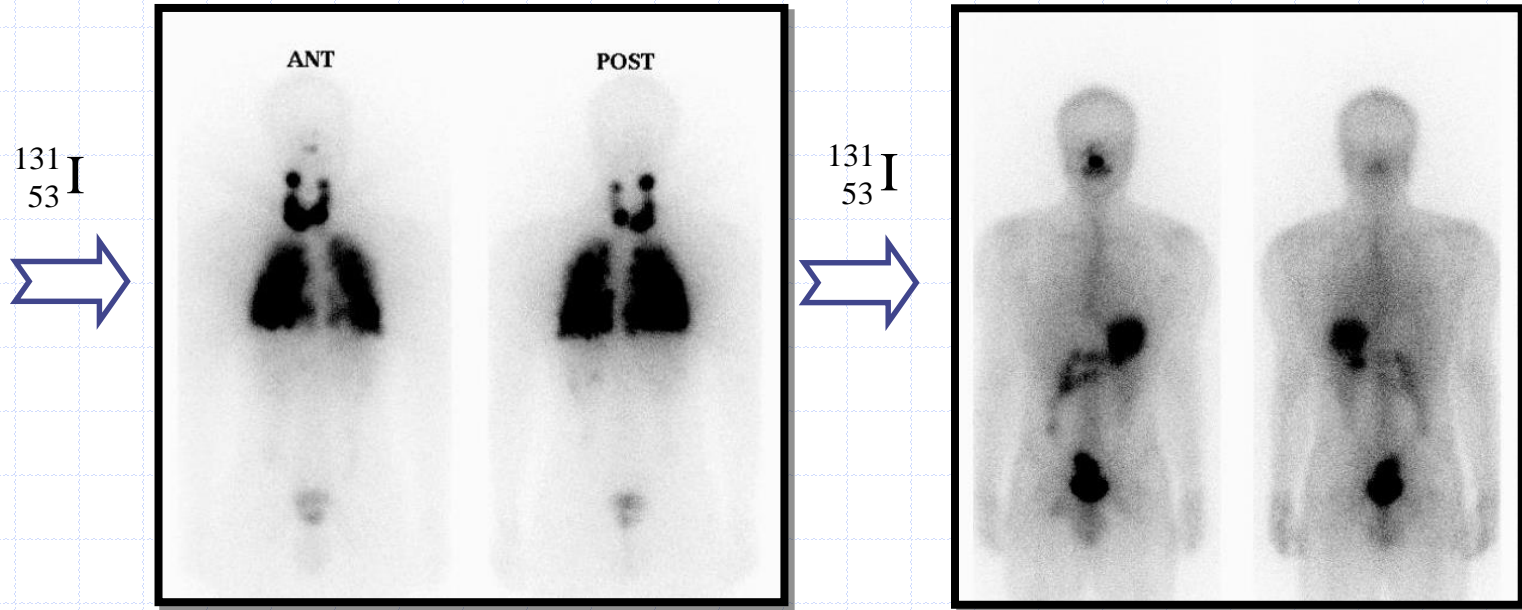
- Rhumatologie : BP, ostéoblastose (sensibilité ↑↑)
 - i = fractures, tumeurs, nécrose, arthrites...
- Infections : Polynucléaires, BP, FDG, Gallium...
- Cardiologie : perfusion et fonction systolique
 - Coronaropathies et insuffisance cardiaque (MIBG, ventriculographie)
- Thyroïde : hyperthyroïdie et bilan de goitres
- Pneumologie : perfusion et ventilation
 - Embolie pulmonaire, HTAP, pré-opératoire, malformations
- Néphrologie : infection et fonction excrétrice
- Neurologie : Perfusion (démences, épilepsie), tumeur, PK
- Cancérologie
 - ◆ Différenciée: somatostatine (neuroendocrine) & MIBG (paragangliome)
 - ◆ Indifférenciée : FDG pour diagnostic, BE et suivi de cancers
 - pulmonaires, lymphomes, ORL, digestif, mélanome...
 - ◆ Ganglions sentinelles : sein, ORL, mélanome, prostate...

THERAPIE METABOLIQUE

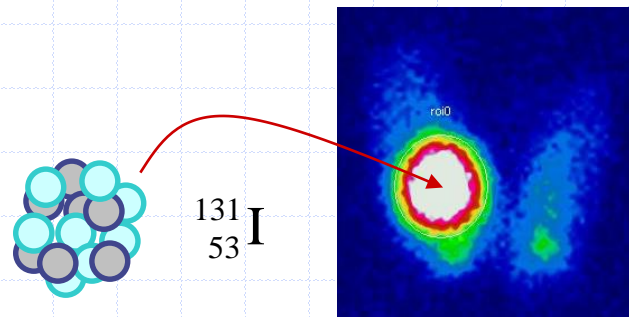
Cancers thyroïdiens, hyperthyroïdie,
Synoviorthèses,
Métastases osseuses,
Lymphomes, tumeurs cérébrales...

RADIOTHERAPIE METABOLIQUE β^-

❖ Néoplasies thyroïdiennes



❖ Hyperthyroïdies



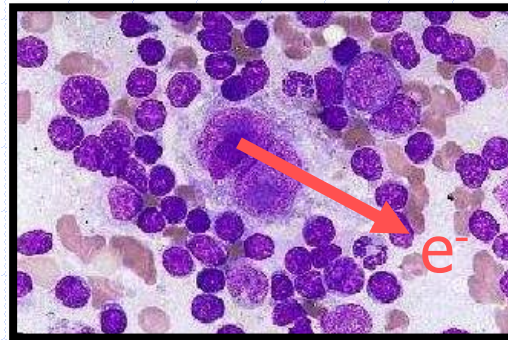
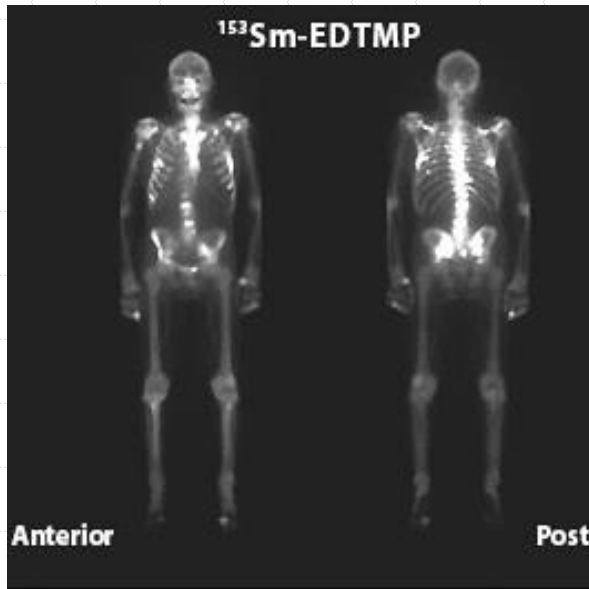
RADIOTHERAPIE METABOLIQUE β^-

❖ Synoviorthèses

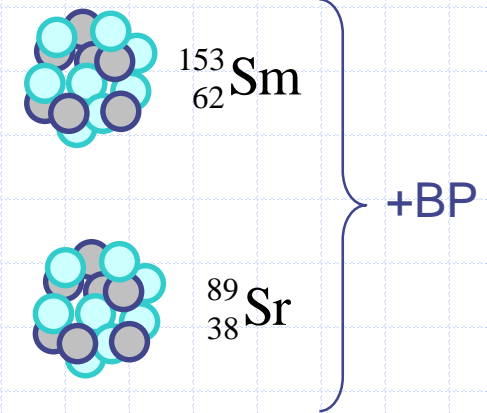
- ❖ injection intra-articulaire sous scopie
- ❖ irradiation de l'hyperplasie synoviale
- ❖ indications : monoarthrites inflammatoires non aiguës
- ❖ 3 radioisotopes β^- : erbium, rhénium et yttrium
 - ❖ $^{169}_{68}\text{Er}$ (parcours moyen des e^- : 0,5 mm)
 - ❖ doigts
 - ❖ $^{186}_{75}\text{Re}$ (parcours moyen des e^- : 1,0 mm)
 - ❖ épaules, coudes, poignets, chevilles
 - ❖ $^{90}_{39}\text{Y}$ (parcours moyen des e^- : 3,5 mm)
 - ❖ hanches, genoux

RADIOTHERAPIE METABOLIQUE β^-

❖ Antalgie de métastases osseuses

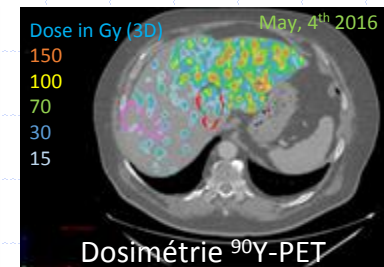
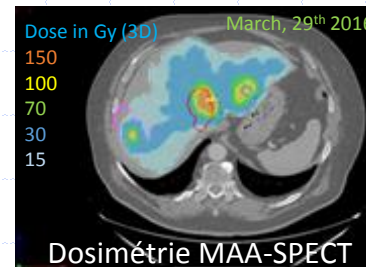


Ionisations sur quelques mm



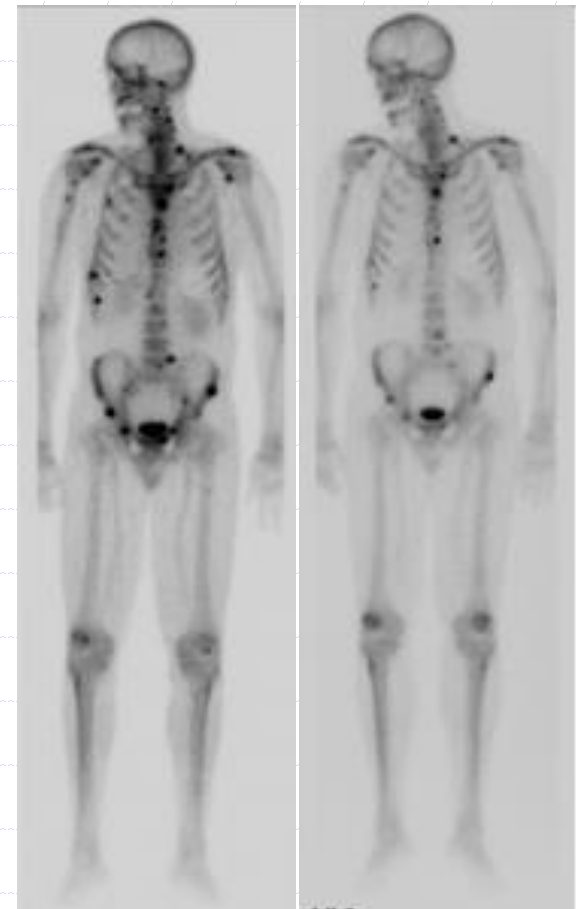
❖ Radiothérapie interne vectorisée hépatique

$^{90}_{39}\text{Y}$ - Micro Sphères



RADIOTHERAPIE METABOLIQUE α

❖ Traitement des métastases de cancers de prostate par le $^{223}_{88}\text{Ra}$ (α)



DOSAGES DE LABORATOIRE

Radio Immuno Analyse (RIA)

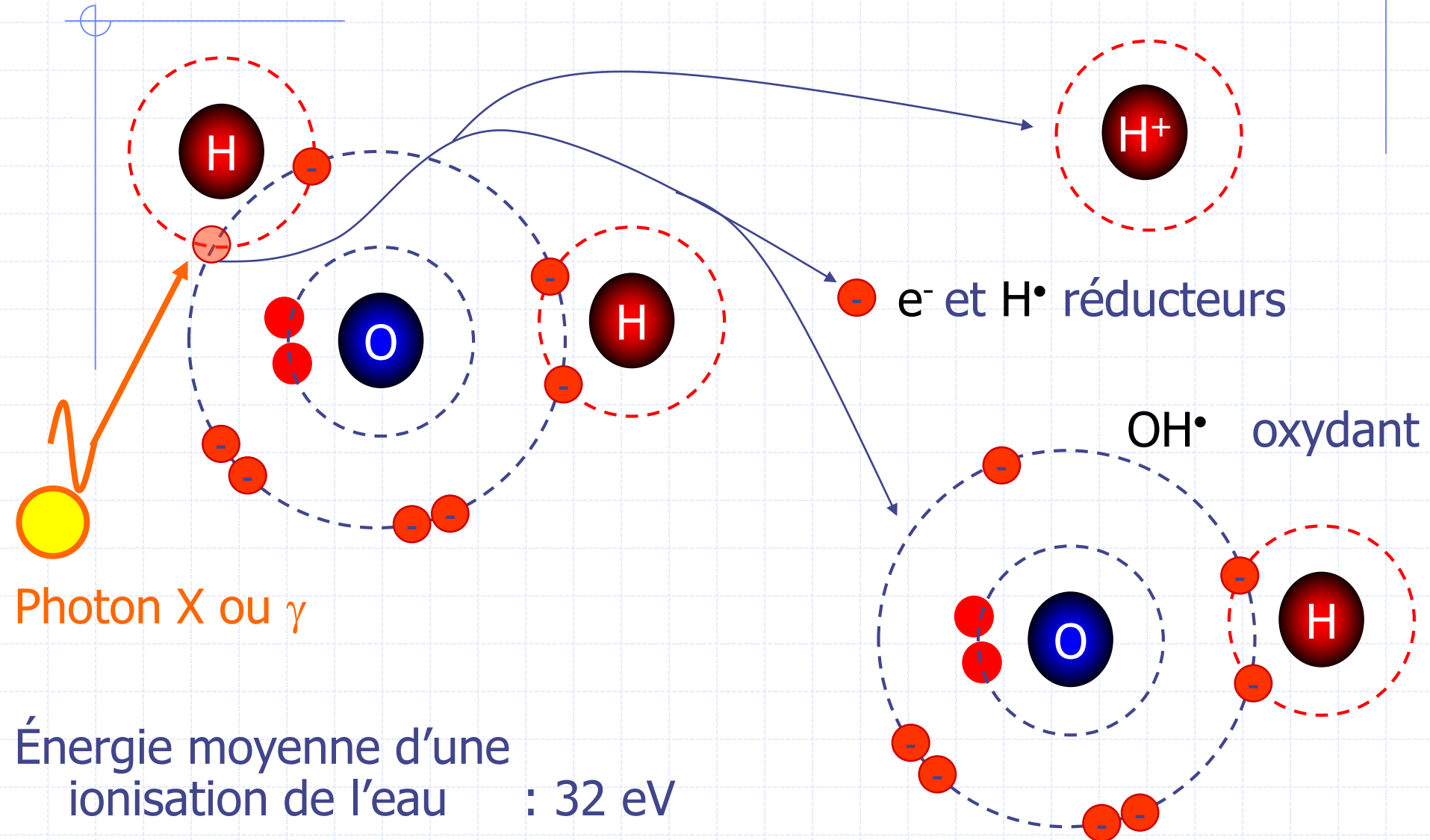
DOSAGES RADIOIMMUNOLOGIQUES

- Liaison Récepteur-Ligand* : spécifique
- Sensibilité < picomole
- 10-20 % des dosages :
 - Hormones (ACTH et cortisol, rénine et aldostérone, gastrine, PTH, ostéocalcine)
 - Vitamines (D), peptides, marqueurs tumoraux



RISQUE DOSIMETRIQUE

RAYONNEMENTS IONISANTS



DOSIMETRIE

Quelques références :

Irradiation naturelle moyenne :
2,5 mSv / an

France : 1-6 mSv

Ramsar (Iran) : 250 mSv/an

Vol Paris-New-York : 0,05 mSv

Au niveau mondial :

202 10^3 homme.Sv pour 33 . 10^6 scintigraphies (5 %)

4000 10^3 homme.Sv pour 3600 . 10^6 radiographies (95 %)

Procédé	Dose efficace (mSv)
<i>Rayons X: 0,01 – 10 mSv</i>	
Membres et articulations (sauf hanche)	<0,01
Thorax (vue PA simple)	0,02
Crâne	0,07
Rachis dorsal	0,7
Rachis lombaire	1,3
Hanche	0,3
Bassin	0,7
Abdomen	1,0
UIV	2,5
Déglutition barytée	1,5
TOGD (transit oeso- gastro-duodénal)	3
Transit du grêle	3
Lavement baryté	7
TDM crânienne	2,3
TDM thoracique	8
TDM abdominale ou pelvienne	10
TDM TAP non diagnostique	7
<i>Scintigraphie:</i>	0,3 – 20 mSv
Ventilation pulmonaire (Xe-133)	0,3
Perfusion pulmonaire (Tc-99m)	1
Rein (Tc-99m)	1
Thyroïde (Tc-99m)	1
Os (Tc-99m)	4
Exploration dynamique cardiaque (Tc-99m), MIBG	6
TEP pour crâne (18F-FDG)	5
OCTREOSCAN	12
Thallium, rubidium	20

SYNTHESE 4

- Radiothérapie métabolique vectorisée :
 - Cancers thyroïdiens différenciés, hyperthyroïdies
 - Antalgie de métastases osseuses ostéocondensantes
 - Traitement anti-inflammatoire de monoarthrites
 - Traitements spécifiques: lymphomes, craniopharyngiomes...
- RIA : sensibilité \approx picomole
- Dosimétrie
 - En général de 0,5 à 10 mSv
 - Du même ordre que celle engagée en radiologie et tdm (X)

CONCLUSION

- **Imagerie fonctionnelle et métabolique :**
 - physiologique, non invasive et peu irradiante
 - couvrant toutes les spécialités médicales
 - rôle essentiel dans le diagnostic et le traitement
 - impliquant des équipes multidisciplinaires
 - paramédicaux, techniciens, médecins, pharmaciens,
 - physiciens, chimistes, informaticiens...
- **En fort développement :**
 - Recherche : radio-traceurs, protocoles, caméras...
 - Économique :
 - 200 centres, 600 médecins en France
 - + 5% de patients pris en charge / an en moyenne
- **Usage civil des technologies nucléaires**



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

