

# IMAGERIE SCINTIGRAPHIQUE

## Formation Générale en Sciences Médicales – 2<sup>o</sup> année

### Module biopathologie-imagerie

Denis Mariano-Goulart

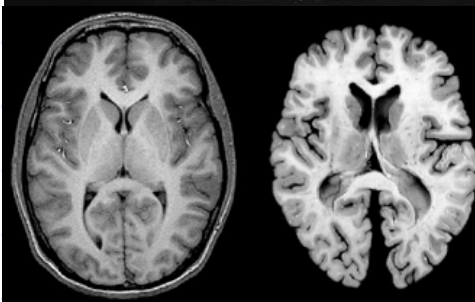
Faculté de médecine et CHRU de Montpellier

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

# PLAN

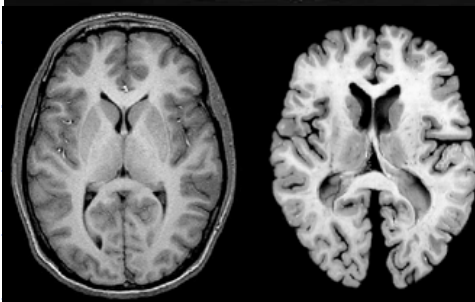
- ◆ Médecine nucléaire & imagerie médicale
- ◆ Les traceurs radioactifs
- ◆ Les scintigraphies (TEMP et TEP)
- ◆ Principales indications diagnostiques
- ◆ Principales indications thérapeutiques
- ◆ Les dosages radio-immunologiques
- ◆ Dosimétrie

# Imagerie médicale



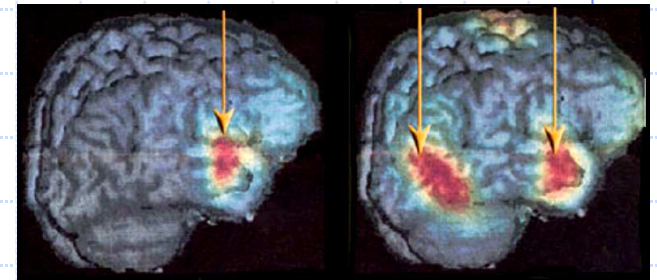
ANATOMIQUE

# Imagerie médicale

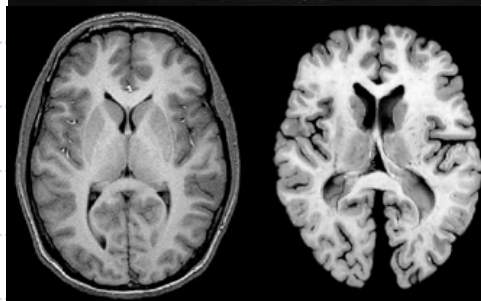


ANATOMIQUE

FONCTIONNELLE



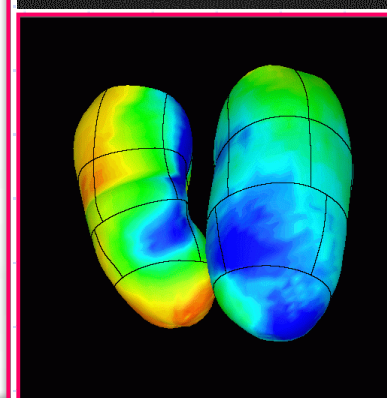
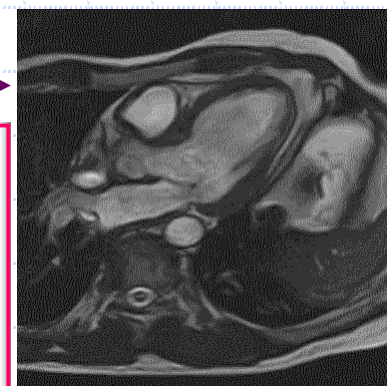
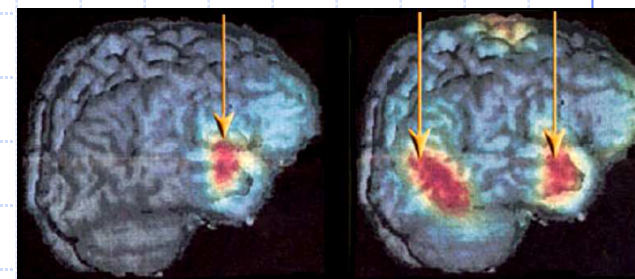
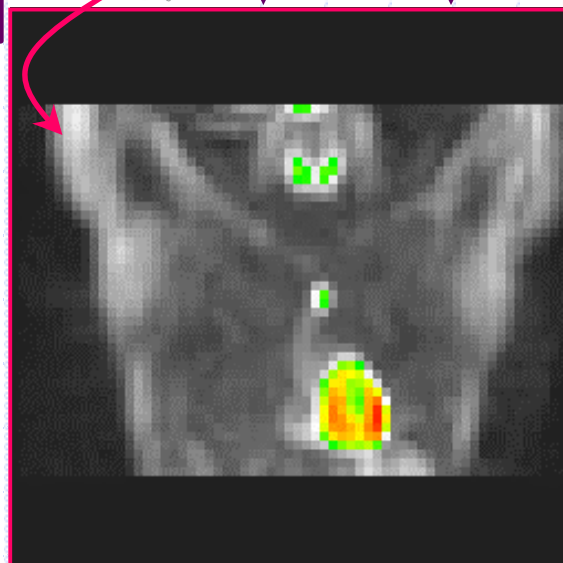
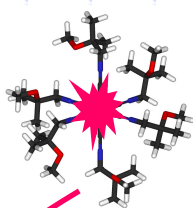
# Imagerie médicale



ANATOMIQUE

METABOLIQUE

FONCTIONNELLE

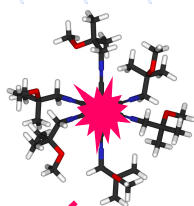




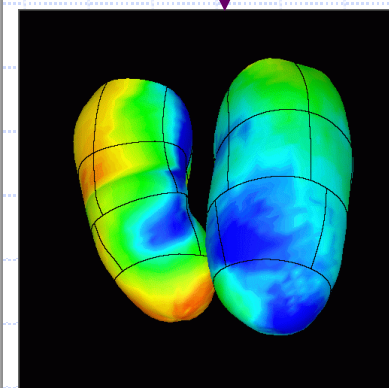
# Médecine Nucléaire

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

IMAGERIE  
DIAGNOSTIQUE  
METABOLIQUE



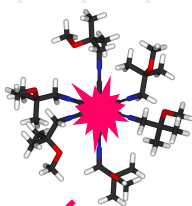
IMAGERIE DIAGNOSTIQUE FONCTIONNELLE



# Médecine Nucléaire

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

IMAGERIE  
DIAGNOSTIQUE  
METABOLIQUE

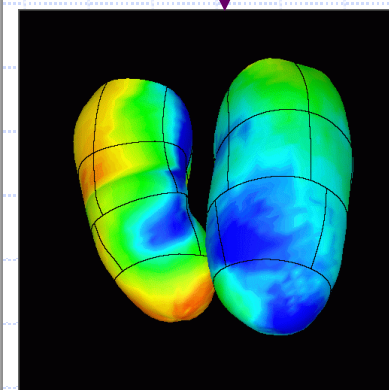


RADIOTHERAPIE METABOLIQUE  
VECTORISEE

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

$\gamma$ -caméra

Traceurs cliniques  $\gamma$

CZT

1900

1934

1940

1950

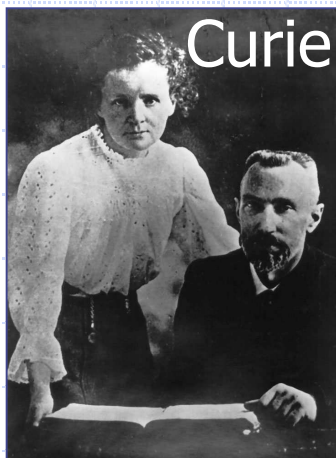
1956

1970

1979

2000

2005



détecteur à  
coïncidence

FDG

TEP

$^{18}_9\text{F}$

VECTEUR

$\gamma$

$e^+$

$e^-$

$\gamma$

# LES TRACEURS RADIOACTIFS

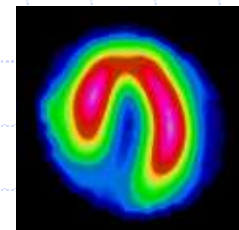
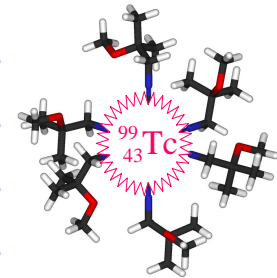
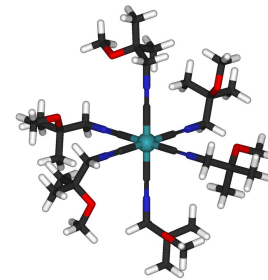
Quel marqueur radioactif ?

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 ⇒ $\beta^+$ ou $\gamma$ ⇒ 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 $\gamma$ $\Rightarrow$ 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 $\gamma$ 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 $\Rightarrow \beta^+$ ou $\gamma$ $\Rightarrow$ 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 $\gamma$ d'énergie faible		AFFINITE POUR LE CORPS A DOSER $\Rightarrow {}^{125}_{53}\text{I}, {}^{14}_6\text{C} \dots$
THERAPIE	EMETTEURS DE PARTICULES IRRADIANTES	PARCOURS COURTS $\Rightarrow \alpha$ ou $\beta$ $\Rightarrow T$ assez courtes : jour $\Rightarrow$ ISOTOPES ARTIFICIELS	(RENDUS) SPECIFIQUES D'UNE PATHOLOGIE $\Rightarrow$ AFFINITE



# VECTEURS

## ◆ Simples isotopes radioactifs (aérosols, colloïdes)

- ◆ Diagnostic ( $\gamma$ ) :  $^{99}_{43}\text{Tc}$ ,  $^{201}_{81}\text{Tl}$ ,  $^{123}_{53}\text{I}$ ,  $^{133}_{54}\text{Xe}$ ,  $^{81}_{36}\text{Kr}$ ,  $^{67}_{31}\text{Ga}$
- ◆ Thérapie ( $\beta$ ) :  $^{32}_{15}\text{P}$ ,  $^{169}_{68}\text{Er}$ ,  $^{186}_{75}\text{Re}$ ,  $^{90}_{39}\text{Y}$ ,  $^{131}_{53}\text{I}$ ,  $^{223}_{88}\text{Ra}$ , ...

## ◆ 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

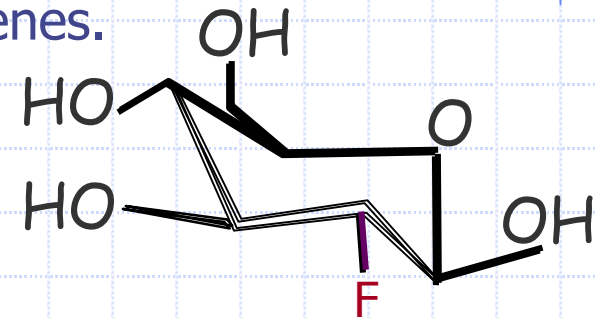
## ◆ Cellules

- ◆ 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  $\beta^+$  :  $^{11}_6\text{C}$ ,  $^{18}_9\text{F}$
- ◆ Marqueurs  $\gamma$  :  $^{123}_{53}\text{I}$

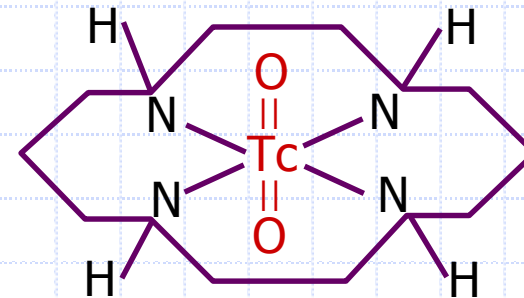


## ◆ marqueur métallique :

- ◆ 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 $\gamma$

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

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 $\beta^+$

Marqueur	T (min)	Vecteur	Fonction
$^{18}_{9}\text{F}$	110	FDG	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	$\text{NH}_3$	Perfusion myocardique
$^{82}_{37}\text{Rb}$	1 ¼	-	Perfusion myocardique
$^{68}_{31}\text{Ga}$	68	DOTA-Peptides -	Cancers Infections

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

Marqueur	T (min)	Vecteur	Fonction
$^{18}_{9}\text{F}$	110	FDG	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	$\text{NH}_3$	Perfusion myocardique
$^{82}_{37}\text{Rb}$	1 ¼	-	Perfusion myocardique
$^{68}_{31}\text{Ga}$	68	DOTA-Peptides -	Cancers Infections

G  
É  
N  
É  
R  
A  
T  
E  
U  
R  
S

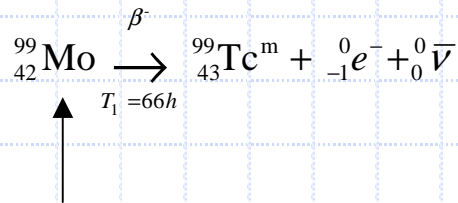
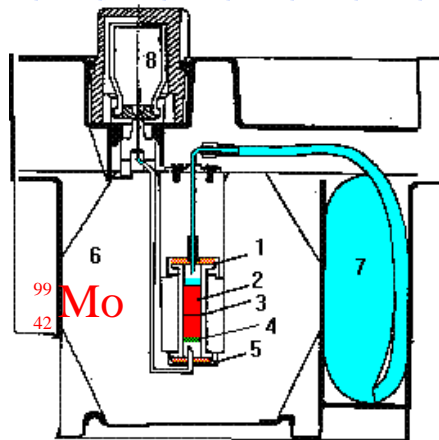
☺ Générateurs de rubidium et de gallium

☺ Marquage des petites molécules de base de la biochimie,

☹ mais gestion délicate des périodes très courtes



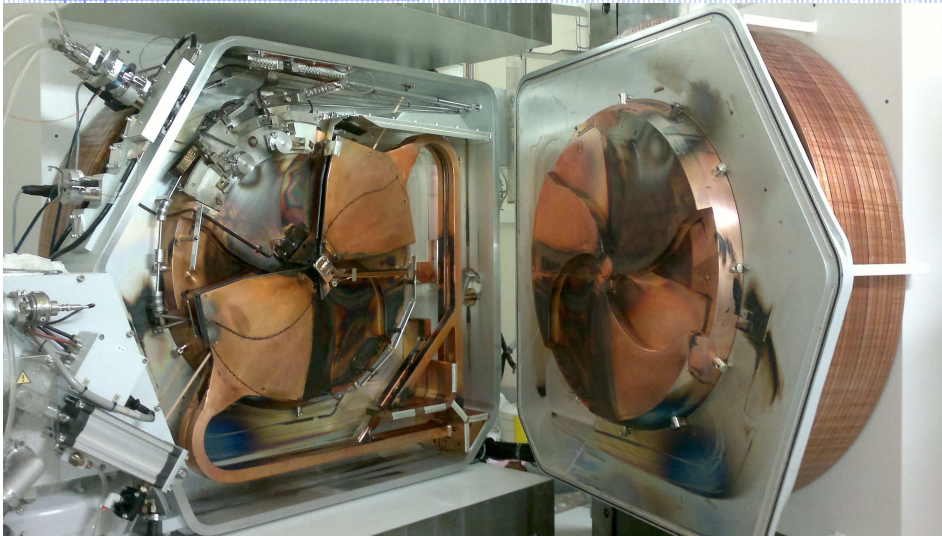
# PRODUCTION DU $^{99m}\text{Tc}$



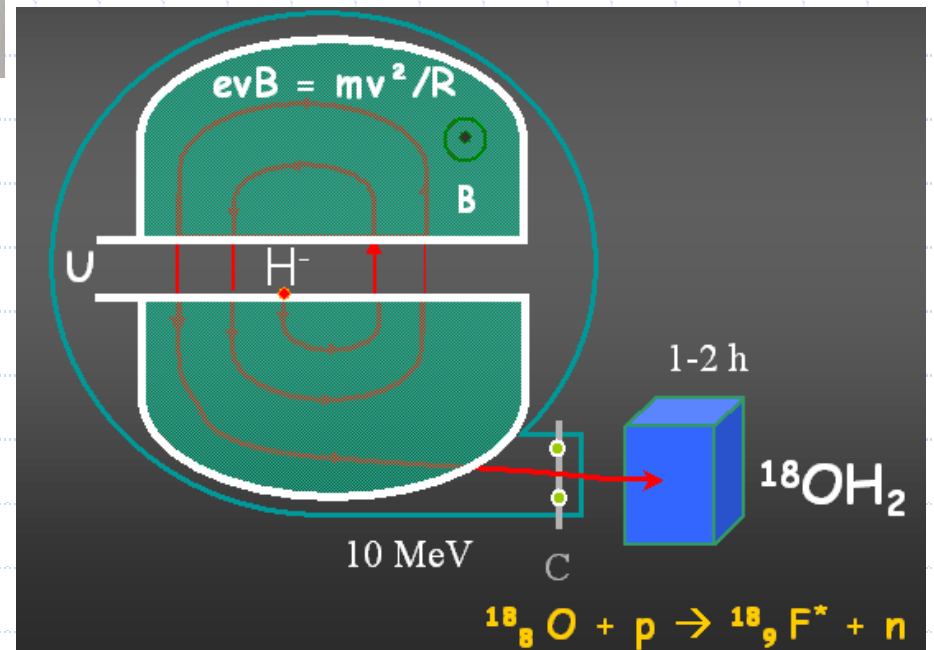
↑  
Réacteur nucléaire  
(activation neutronique  
du  $^{98}\text{Mo}$   
ou fission de  $^{235}\text{U}$ )



# PRODUCTION DU $^{18}\text{F}$



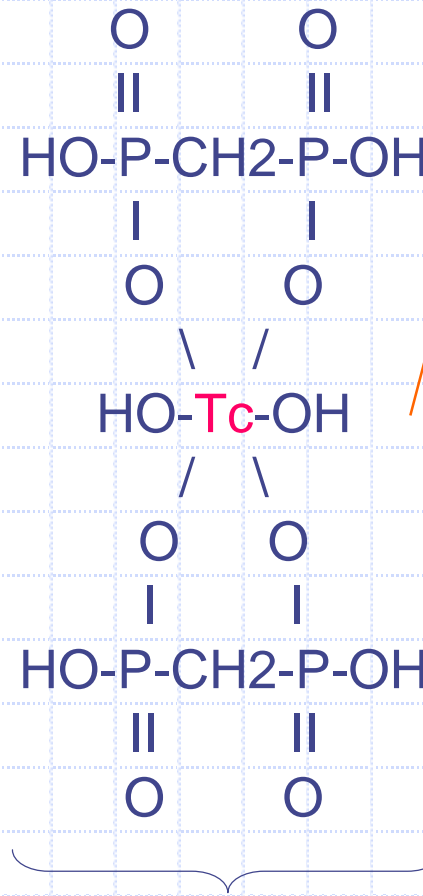
E. Lawrence  
1930



# 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**



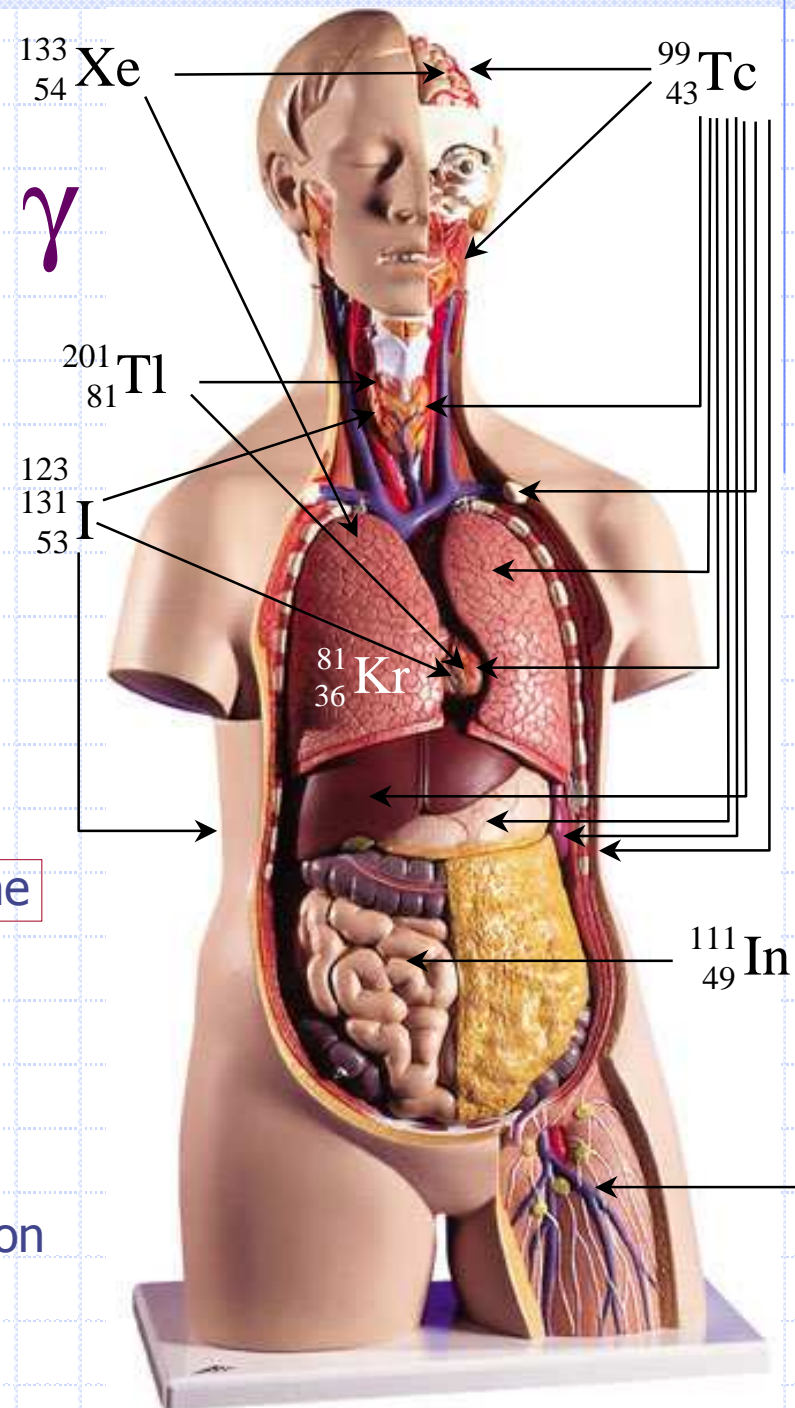
TRACEUR RADIOACTIF



# SCINTIGRAPHIES $\gamma$

- ◆ **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

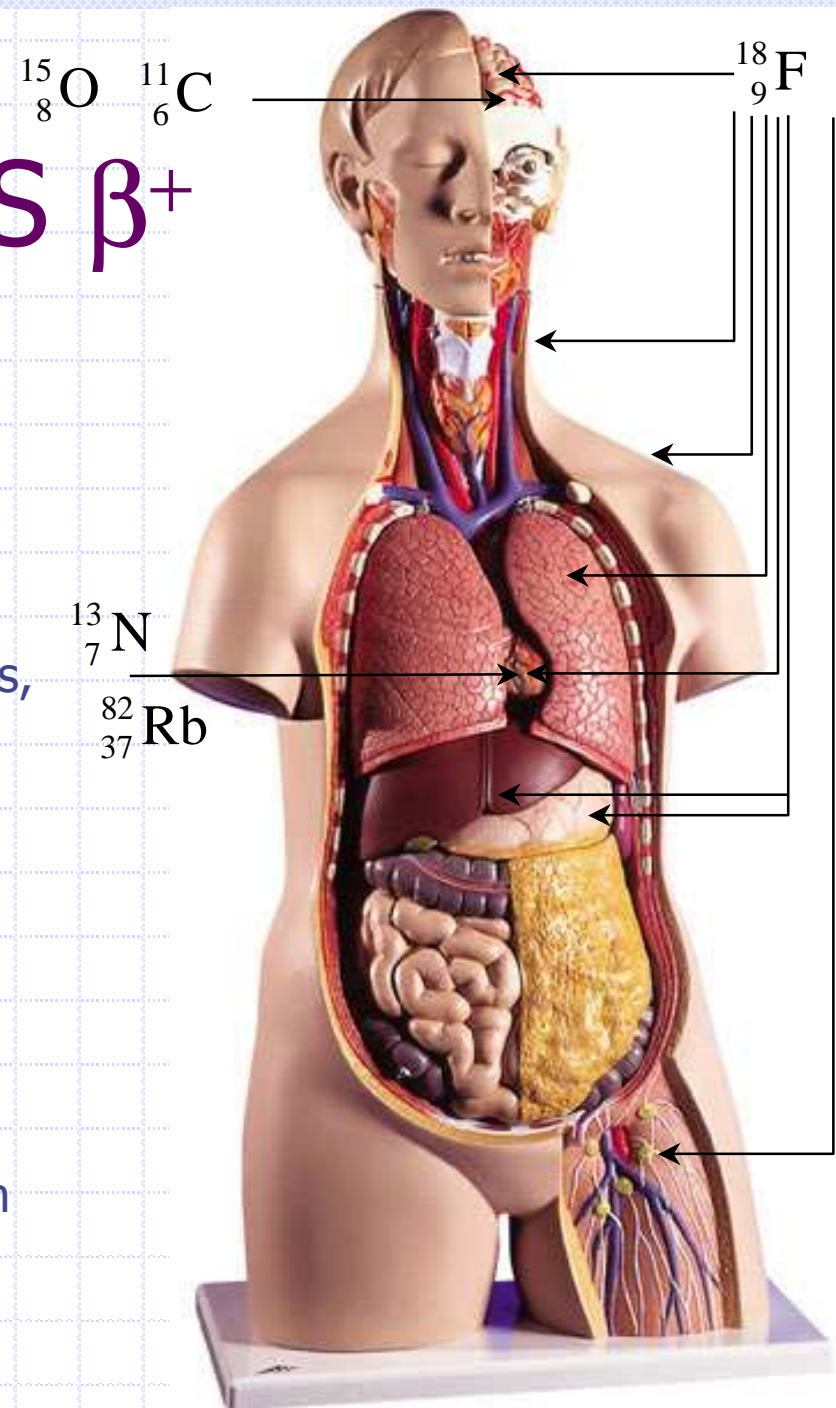




# SCINTIGRAPHIES $\beta^+$

- ◆ **Fluor** : cancer, infection, hypoxie, inflammation, métabolisme cérébral
- ◆ **Azote** : perfusion myocardique ( $\text{NH}_3$ )
- ◆ **Carbone** : cancer, méthionine, opiacés, benzodiazépines, récepteurs à la dopamine, à la sérotonine.
- ◆ **Oxygène** : débit sanguin cérébral, volémie:  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$
- ◆ **Rubidium** : perfusion myocardique
- ◆ **Gallium** : peptides (cancers), infection

$T = 1 - 110 \text{ min}; E = 511 \text{ keV}$



# SYNTHESE 1

- ◆ Imagerie moléculaire et fonctionnelle
- ◆ Détection per-opératoire, thérapie et RIA
- ◆ Marqueur radio-isotope artificiel :
  - ◆  $\gamma$  (TEMP),  $\beta^+$  (TEP),  $\beta$  (Thérap.)
- ◆ Vecteur: atome, molécule(s), cellule
- ◆ Liaison facile halo-chalcogènes
- ◆ Groupe complexant pour les métaux



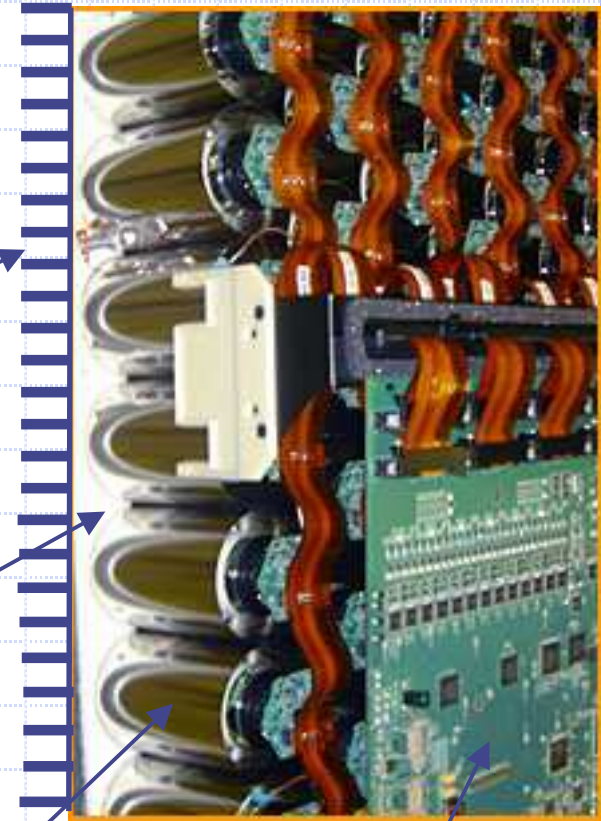
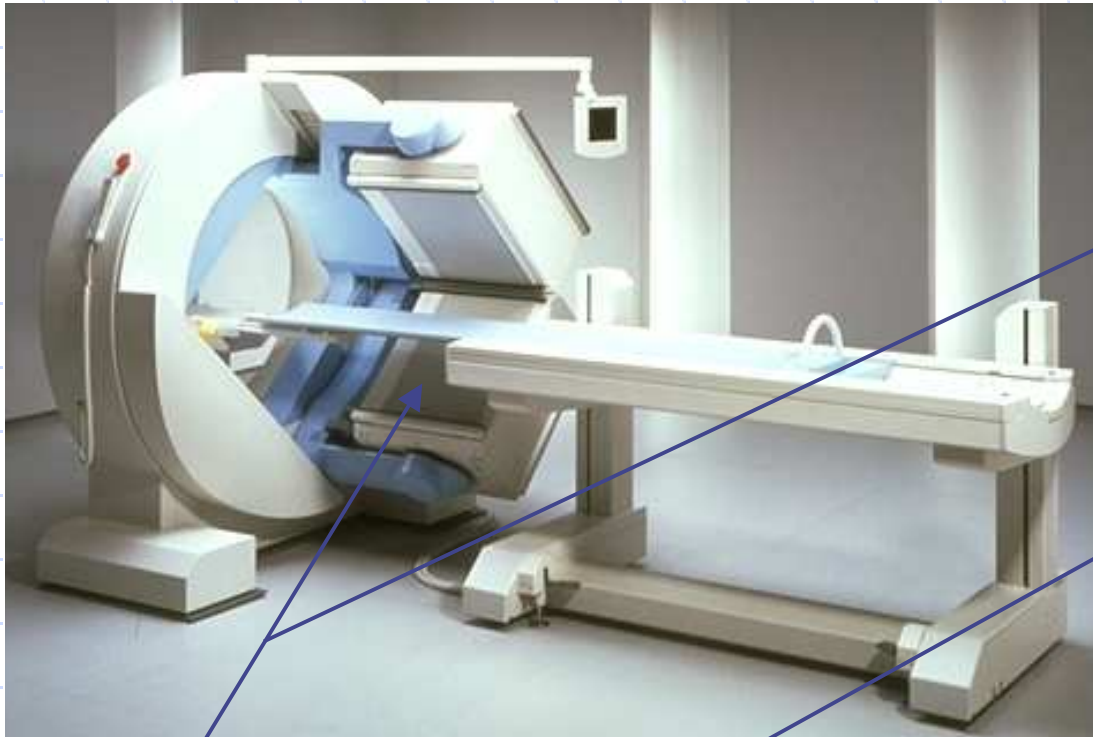
# DU TRACEUR A L'IMAGE

Scintigraphie  $\gamma$

Scintigraphie  $\beta^+$

Corrections des artefacts

# GAMMA-CAMERA TEMP\*



Collimateur

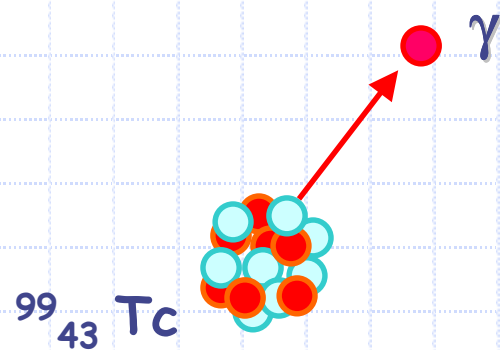
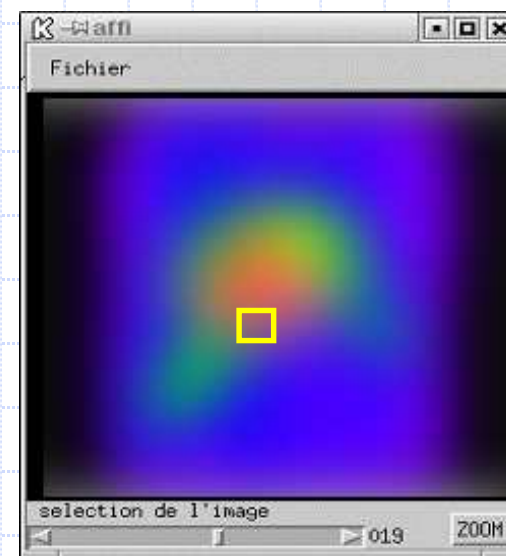
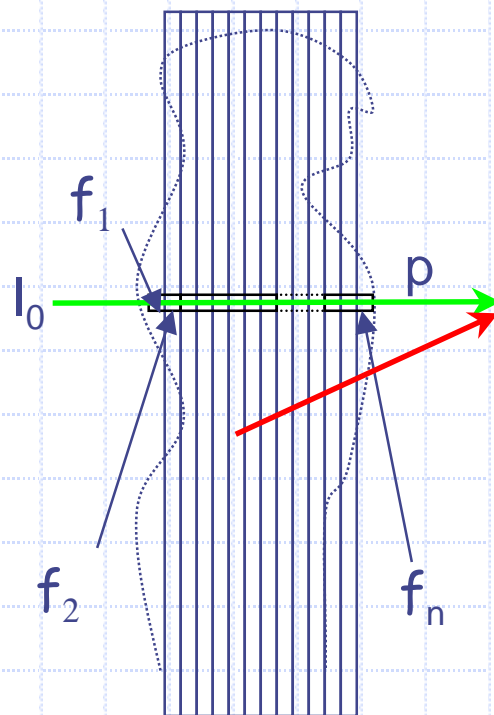
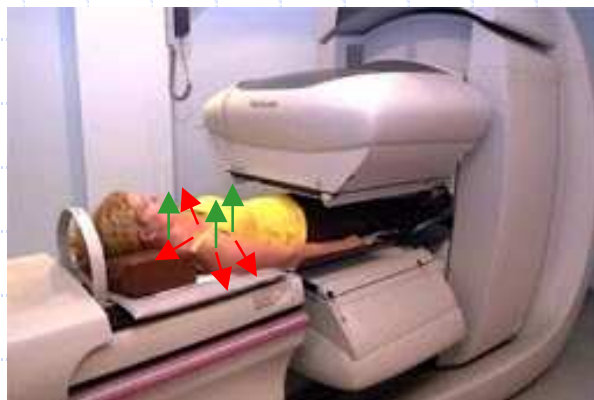
Scintillateur

Photo-multiplicateur

Localisation

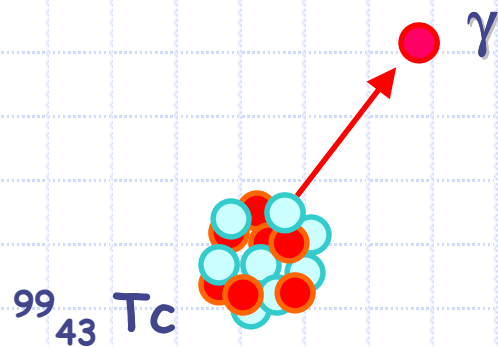
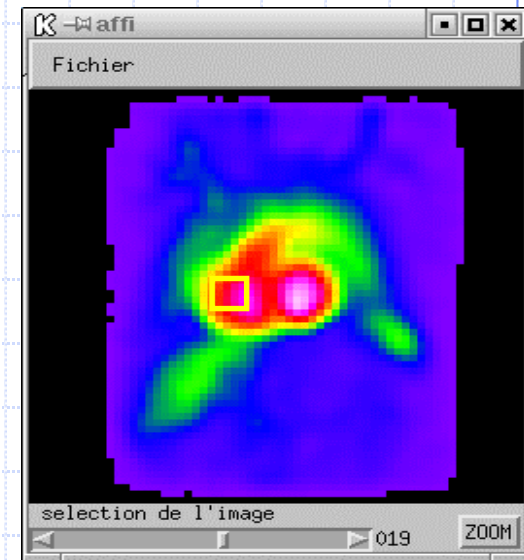
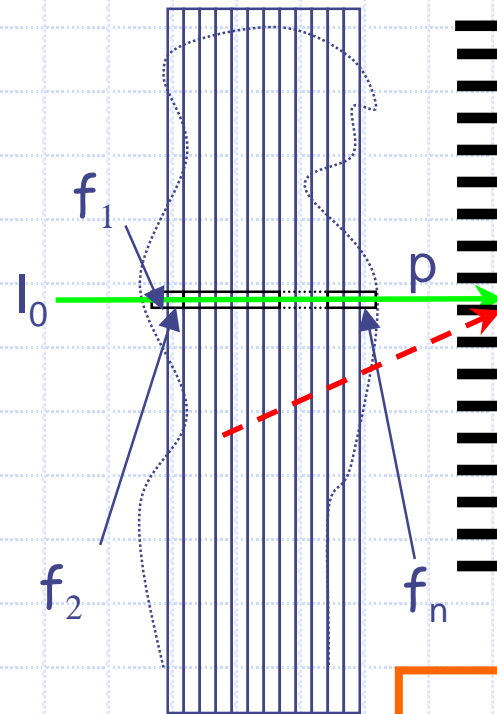
\* Tomographie par Emission de Mono Photonique  $\gamma$  = SPECT

# SCINTIGRAPHIE $\gamma$



# SCINTIGRAPHIE $\gamma$

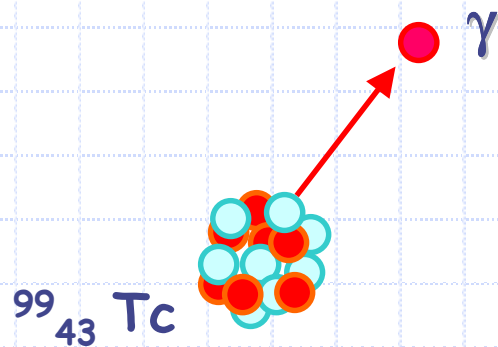
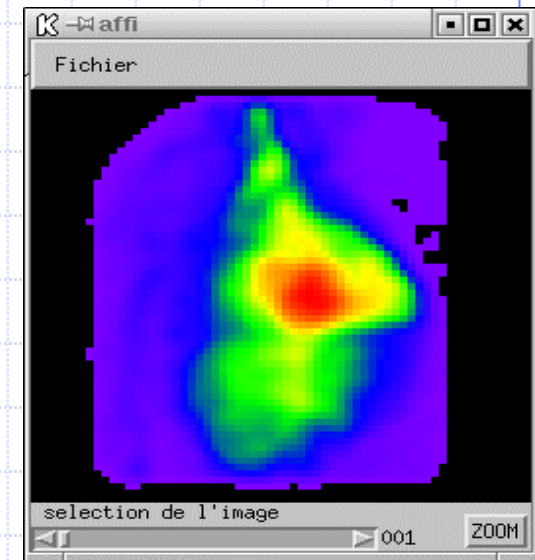
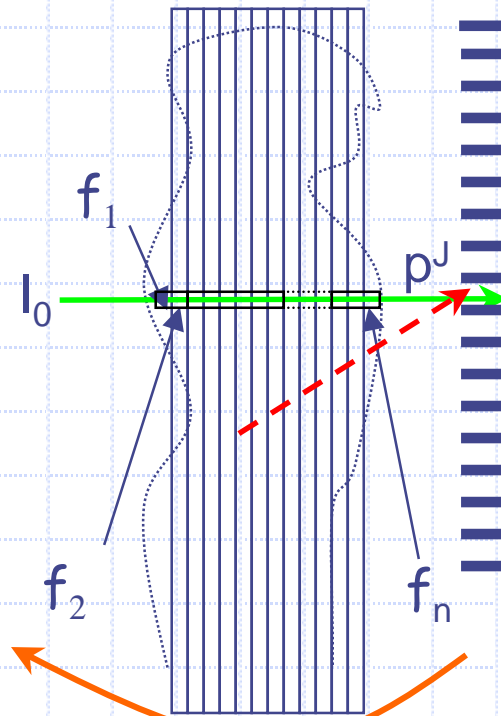
## COLLIMATEUR



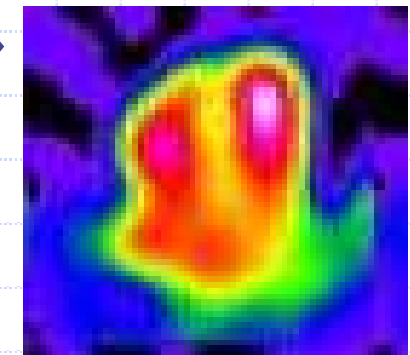
$$p = R_1 f_1 + R_2 f_2 + \dots + R_n f_n$$

résolution  $\approx$  cm  
bruit de Poisson

# SCINTIGRAPHIE $\gamma$ (TEMP)

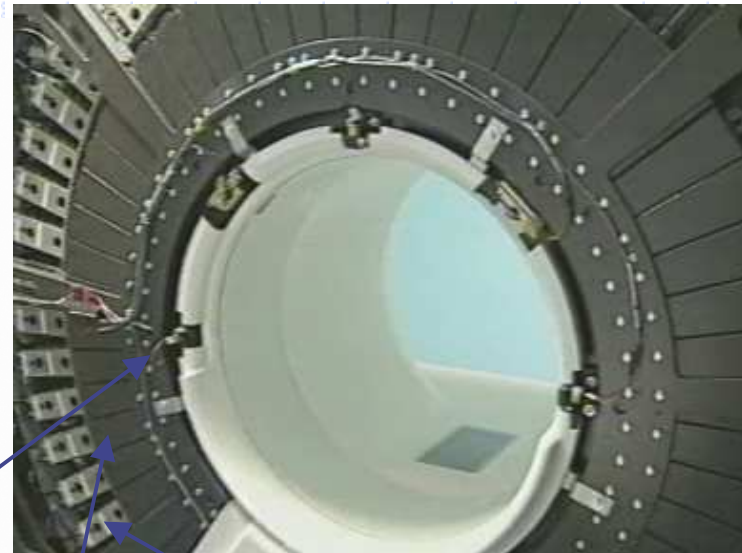


$$\begin{cases} p^1 = R_1^1 f_1 + R_2^1 f_2 + \dots + R_n^1 f_n \\ \dots \\ p^m = R_1^m f_1 + R_2^m f_2 + \dots + R_n^m f_n \end{cases}$$





# GAMMA-CAMERA TEP\*



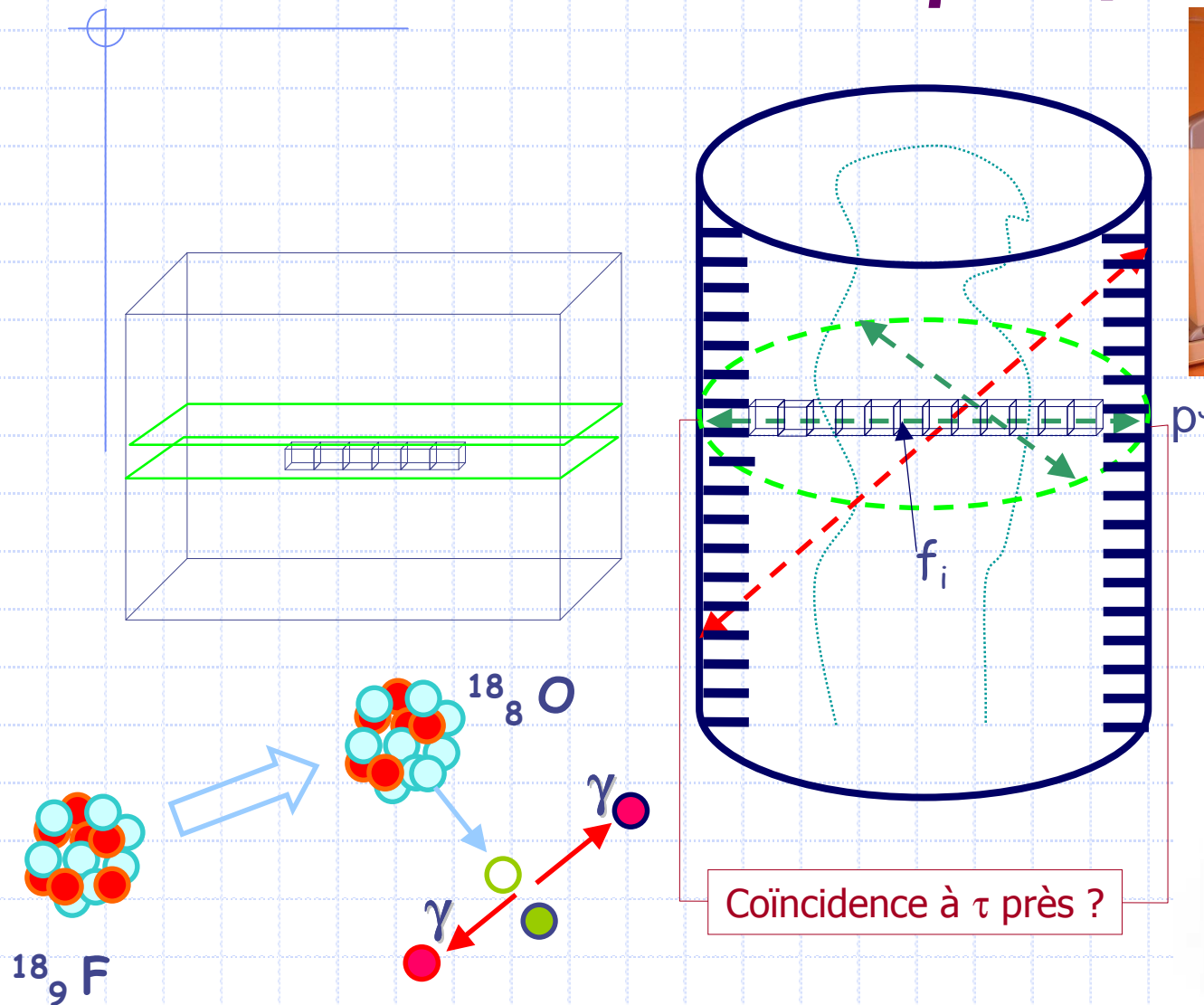
Scintillateur

Photo-multiplicateur

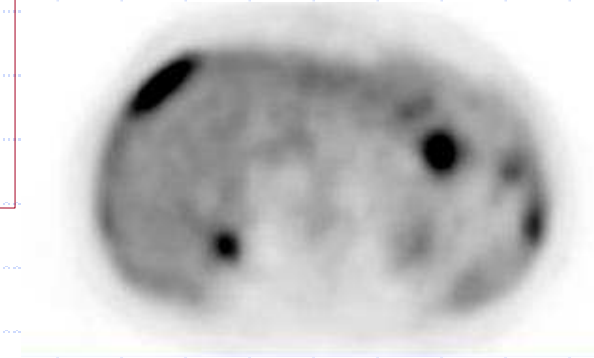
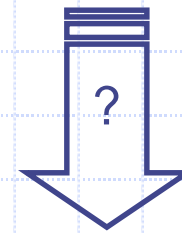
Localisation

\* Tomographie par Emission de Positons = PET

# SCINTIGRAPHIE $\beta^+$ (TEP 2D)



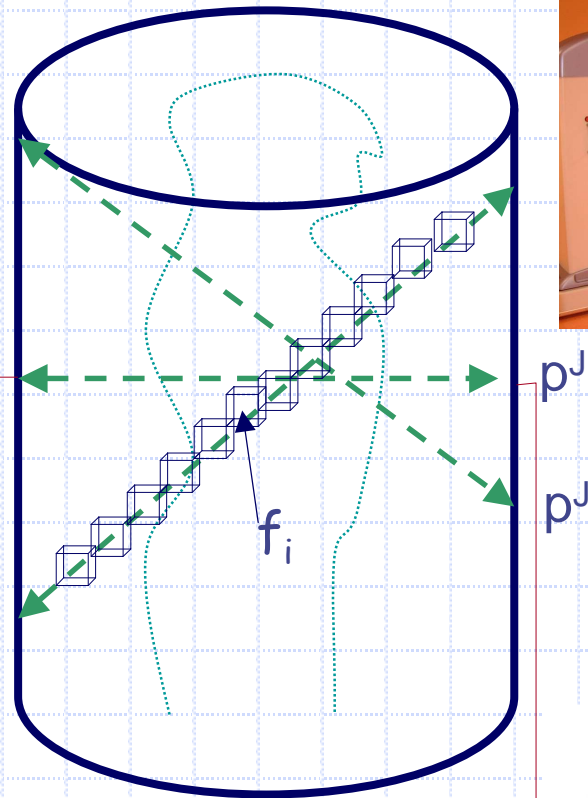
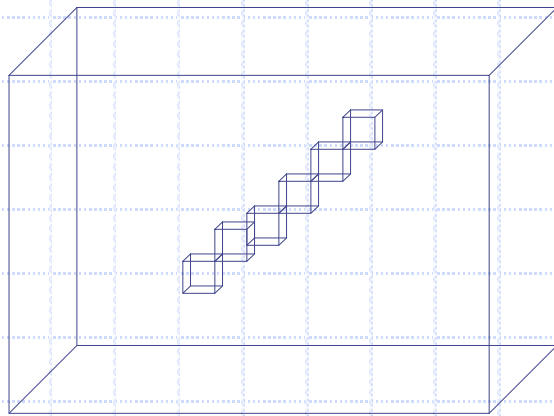
$$p^j = \sum R_i^j f_i$$



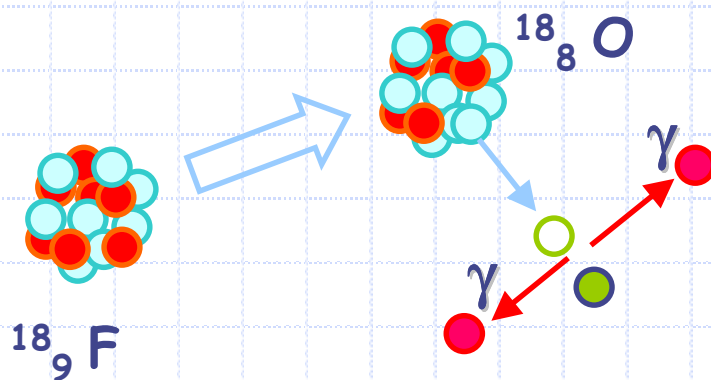
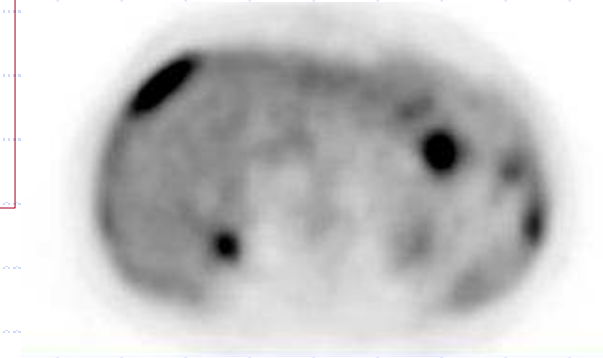
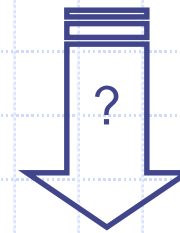


# SCINTIGRAPHIE $\beta^+$ (TEP 3D)

TEP sans collimateur



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

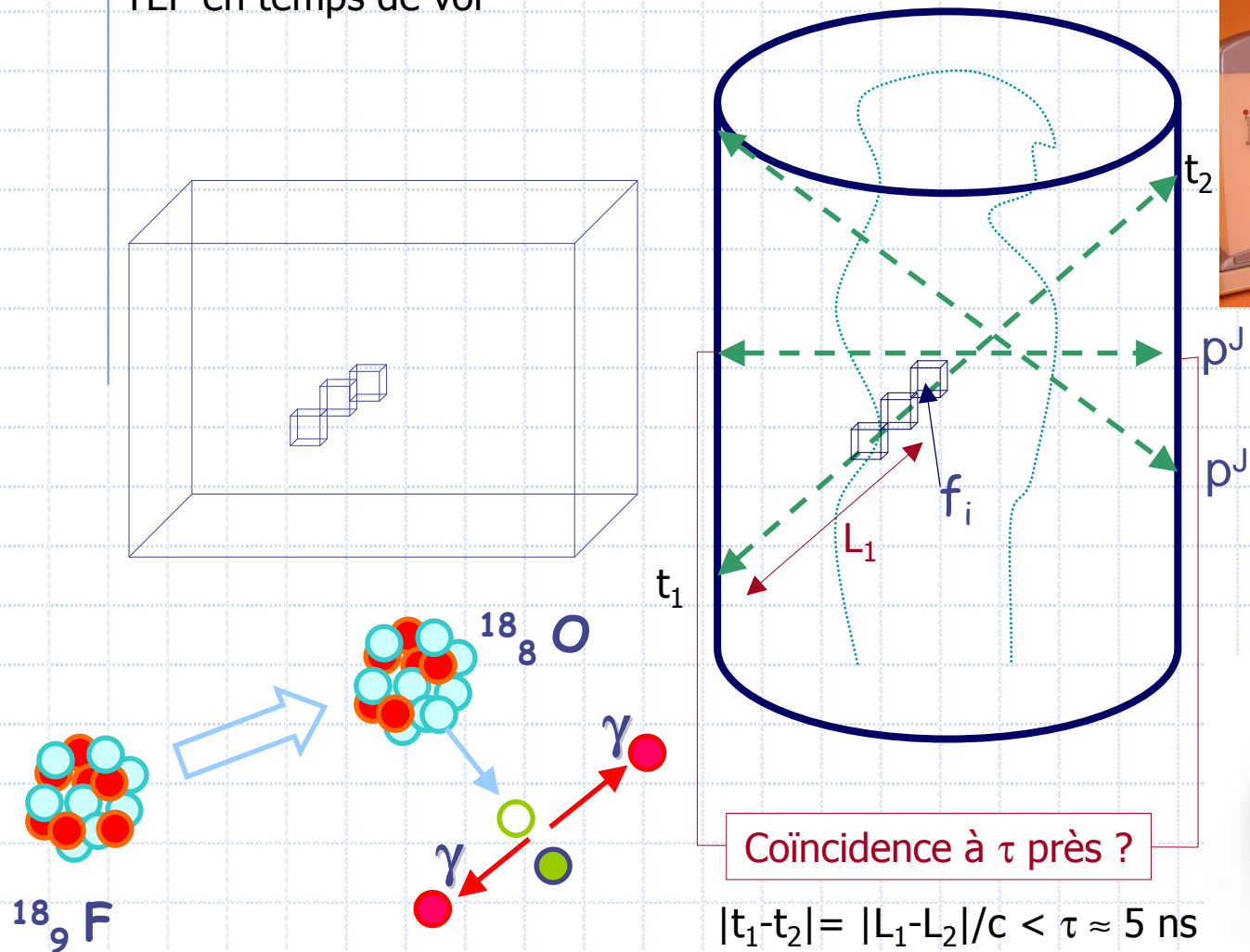


Coïncidence à  $\tau$  près ?

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

# SCINTIGRAPHIE $\beta^+$ (TEP 3D-TOF)

TEP en temps de vol

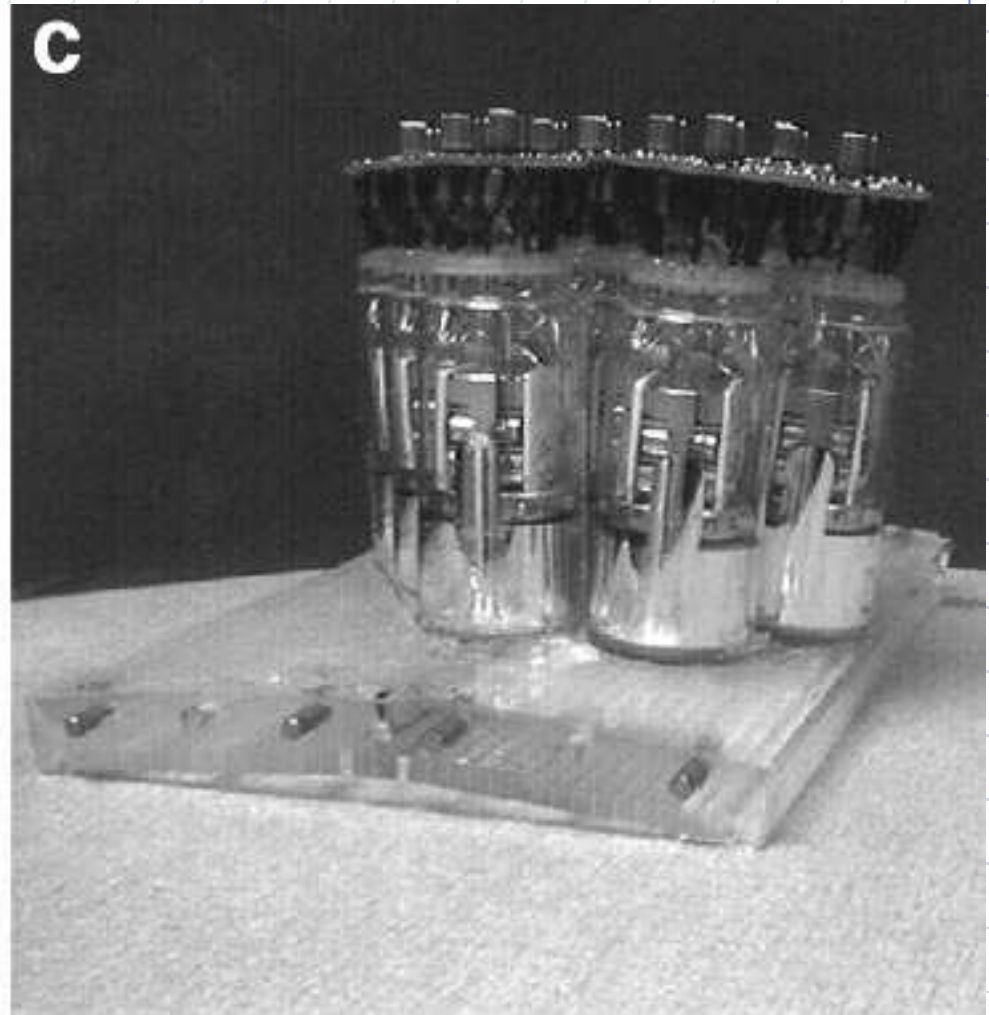
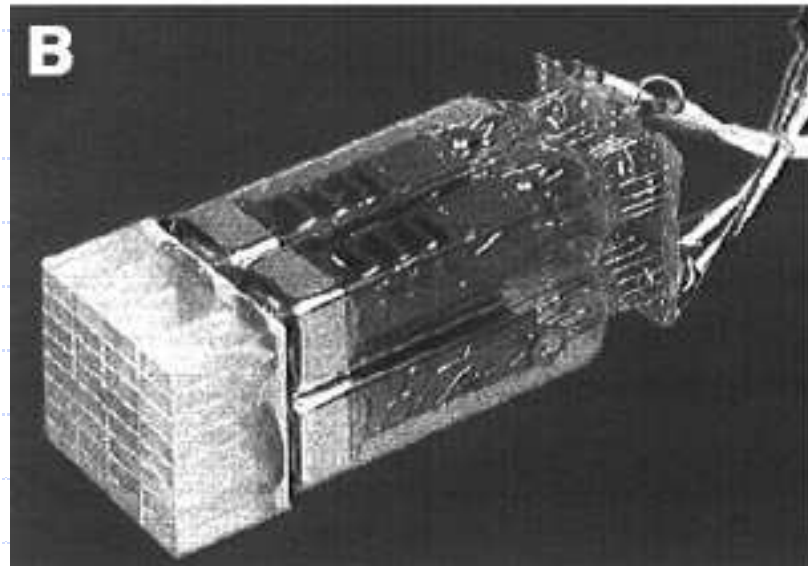
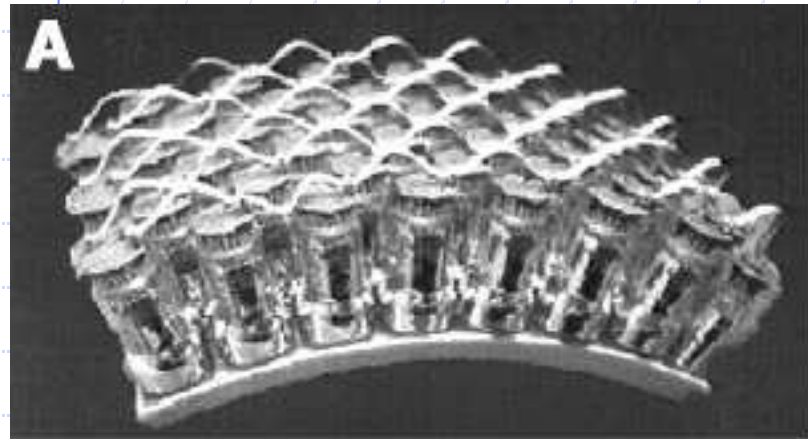


$$p^j = \sum R_i^j f_i$$

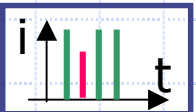
?



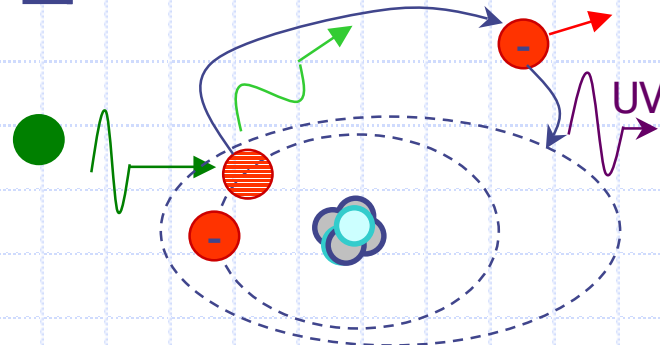
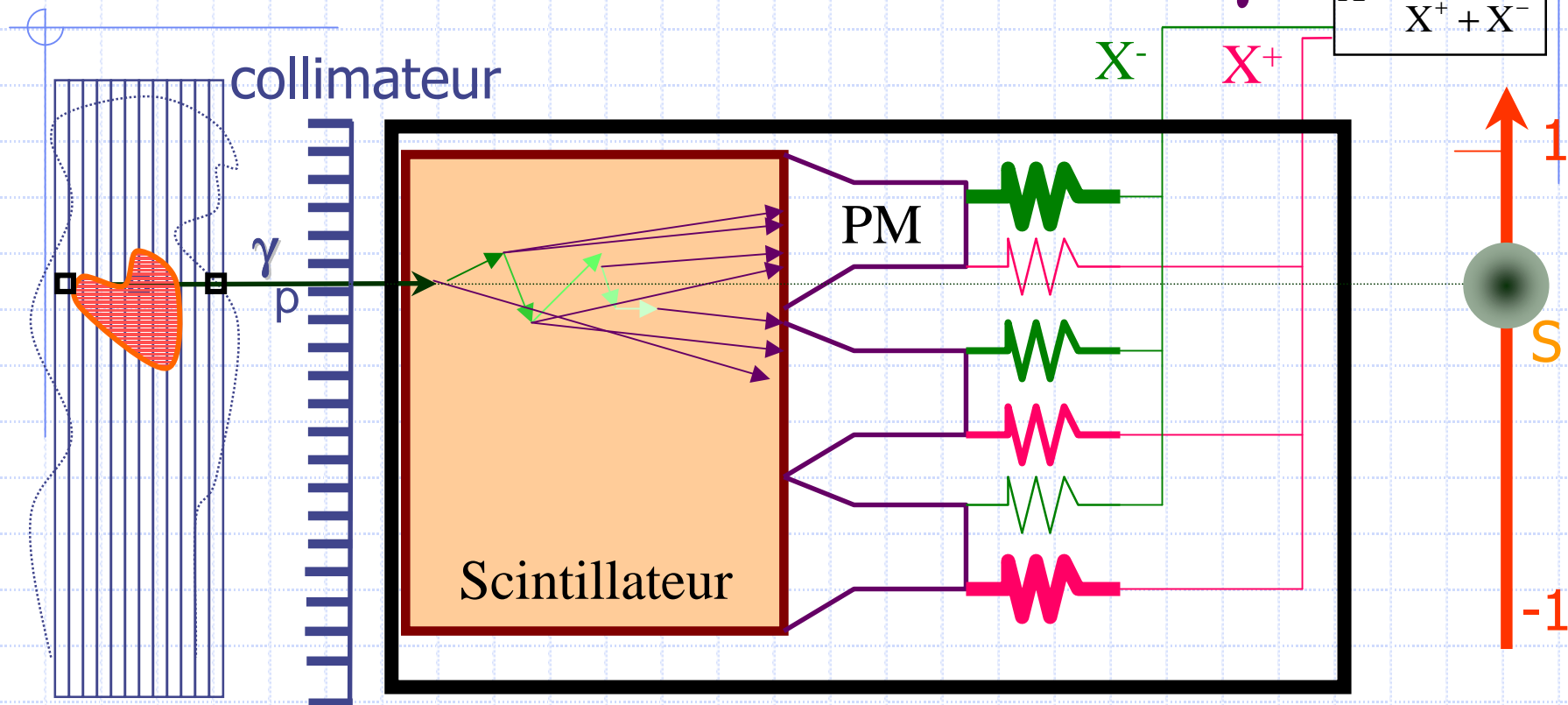
# DETECTEURS ANGER TEP (1956)



# DETECTEURS ANGER DE $\gamma$



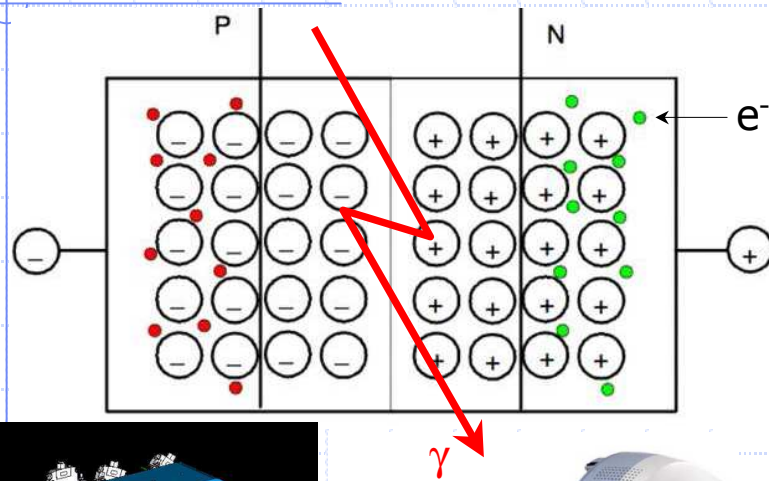
$$X = \frac{X^+ - X^-}{X^+ + X^-}$$



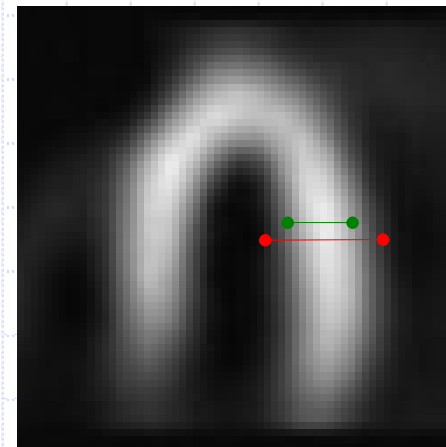
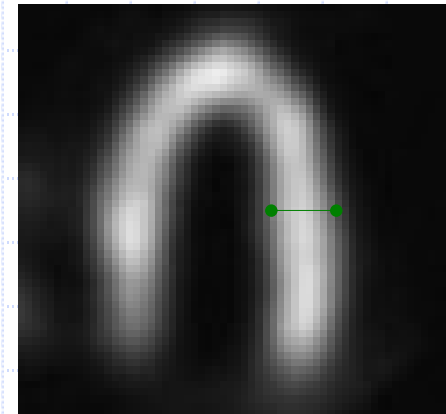
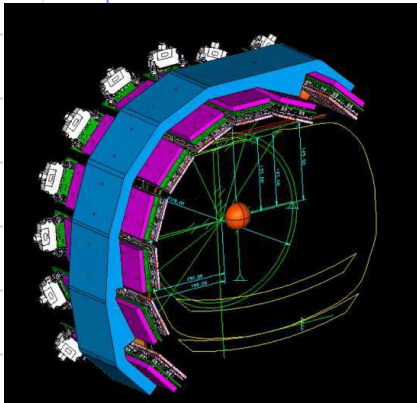
Spectroscopie

Localisation

# DETECTEURS Cadmium Zinc Telluride



SENSIBILITE  $\times 5-10$   
RESOLUTION  $\times 2$

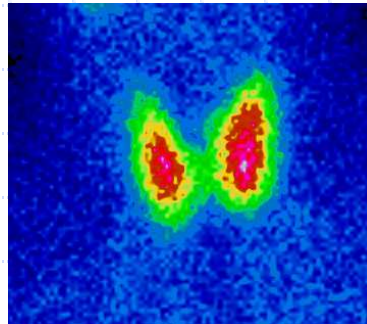




# MODES D'ACQUISITION

## ◆ Planaire

◆ 5'



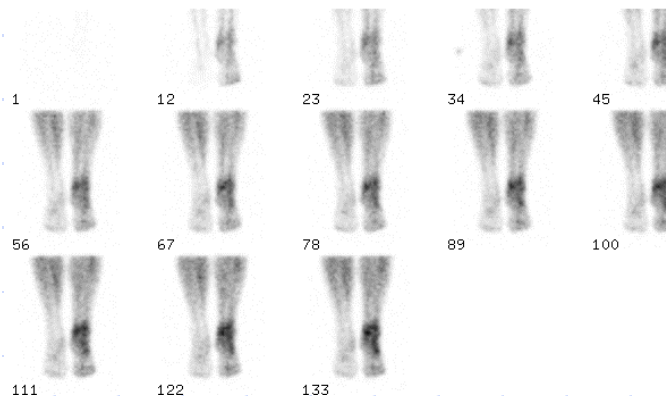
## ◆ Balayage corps entier

◆ 15'



## ◆ Dynamique

◆ 1'

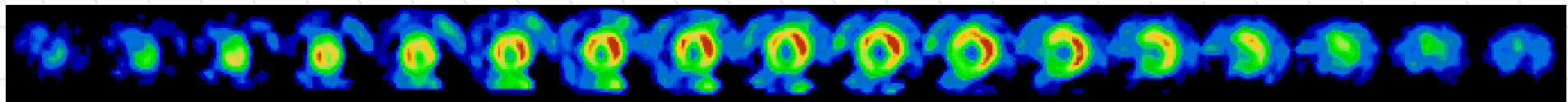
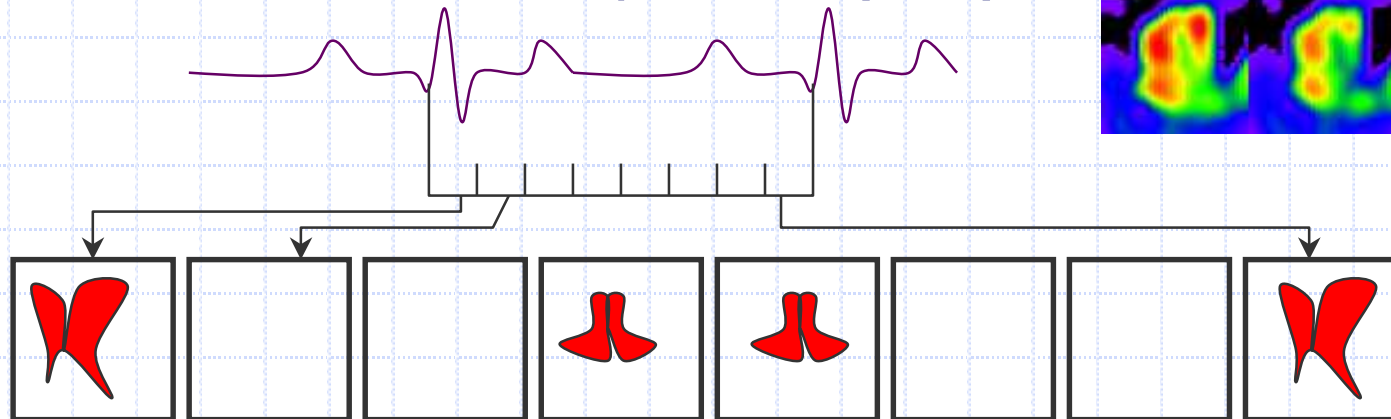
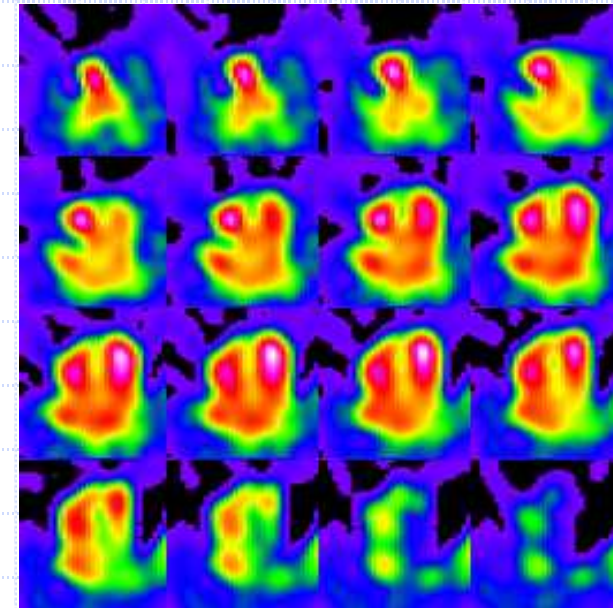


# MODES D'ACQUISITION

◆ Tomographique

◆ Synchronisé à l'ECG

◆ ou à la respiration (TEP)



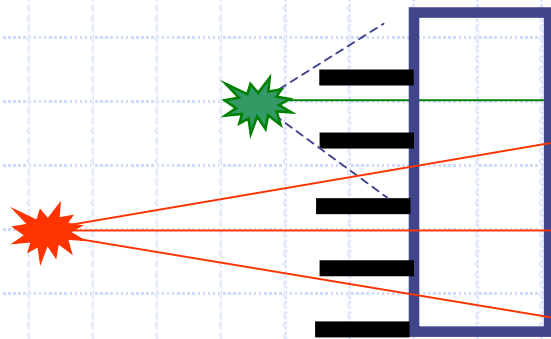
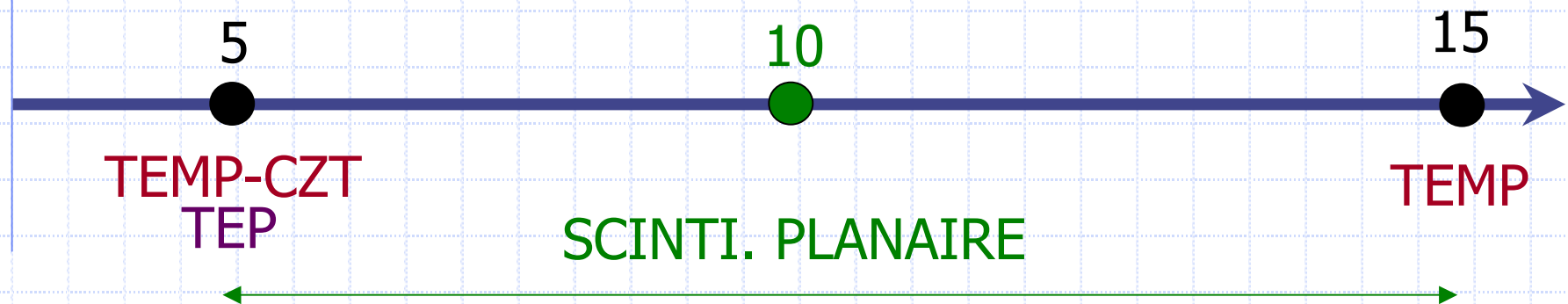


# ARTEFACTS D'ACQUISITION

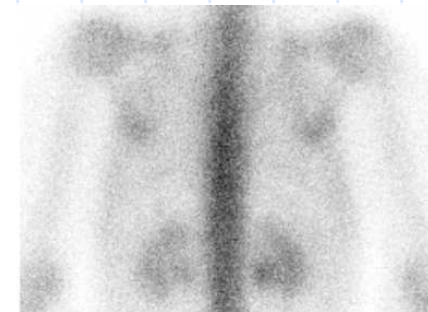
- ◆ Résolution et effet de volume partiel
  - ◆ Possibilité de corriger en partie la réponse impulsionnelle par traitement du signal
- ◆ Atténuations
  - ◆ par absorption photo-électrique
  - ◆ par diffusion Compton
- ◆ Coïncidences fortuites (TEP seulement)

# RESOLUTION

◆ Ordres de grandeur des LMH (mm)



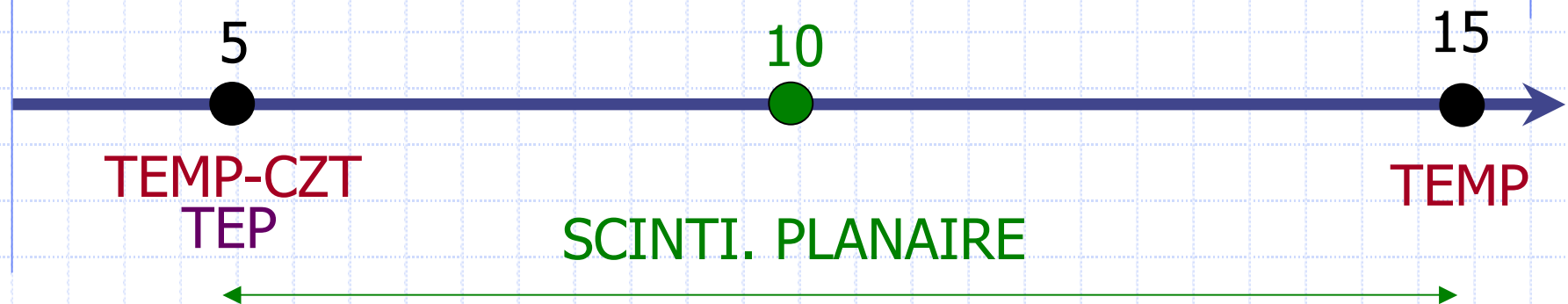
contact



50 cm

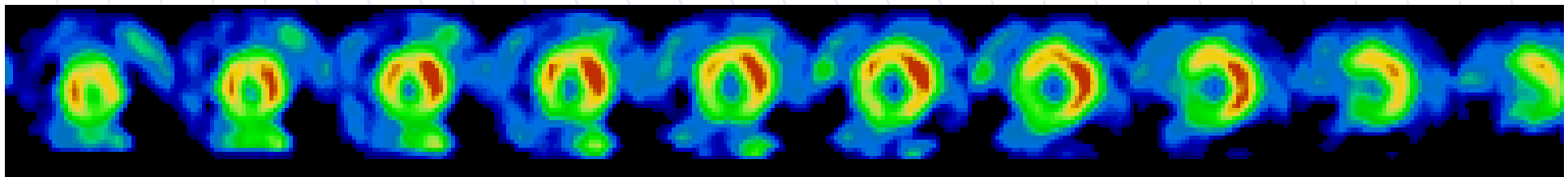
# EFFET DE VOLUME PARTIEL

◆ Ordres de grandeur des LMH (mm)



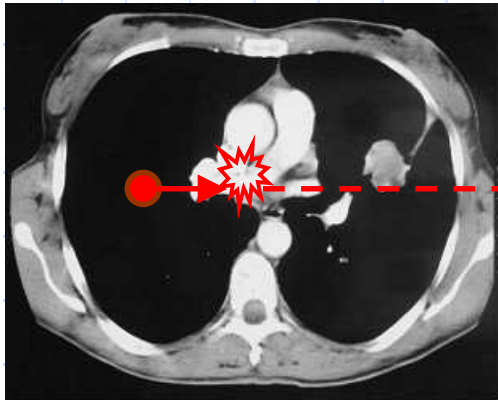
◆ Activité maximale sous estimée pour des objets de dimension  $d$  si  $d < 2.LMH$

◆ donc si  $d < 1 \text{ cm}$  en TEP-CZT et si  $d < 3 \text{ cm}$  TEMP



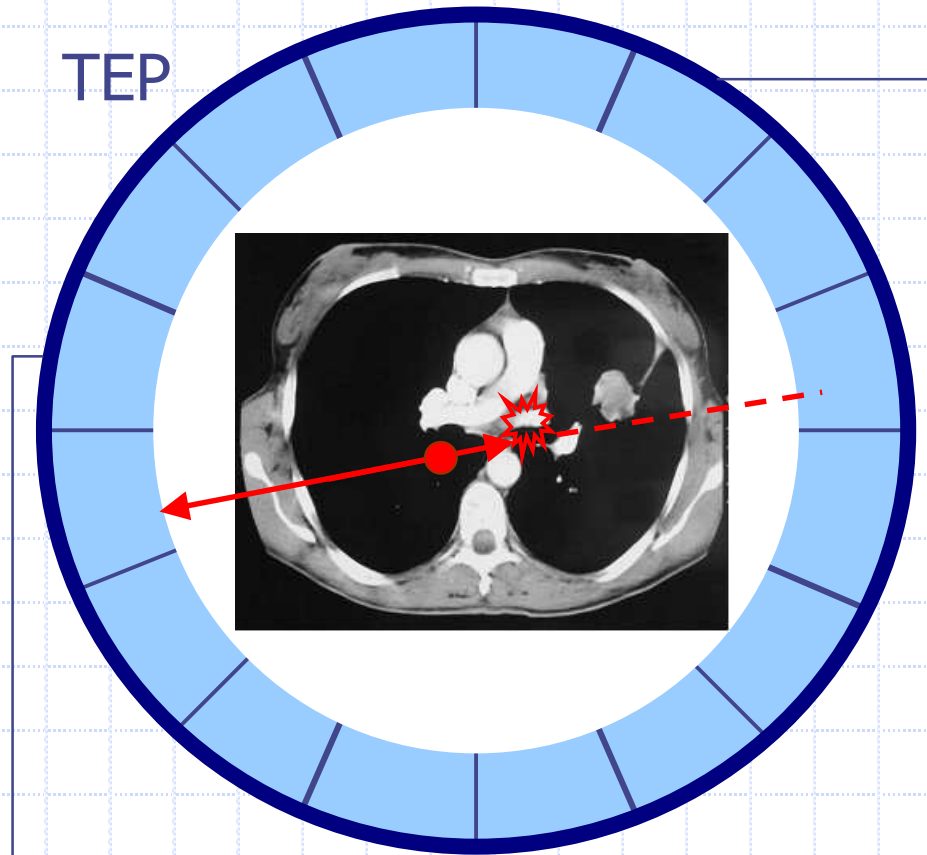
# ATTENUATION PHOTO-ELECTRIQUE

TEMP



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

TEP

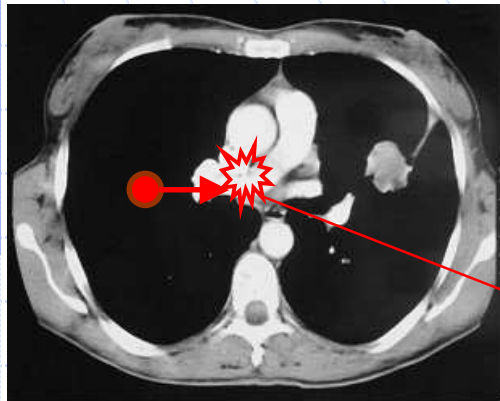


détection des coïncidences

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

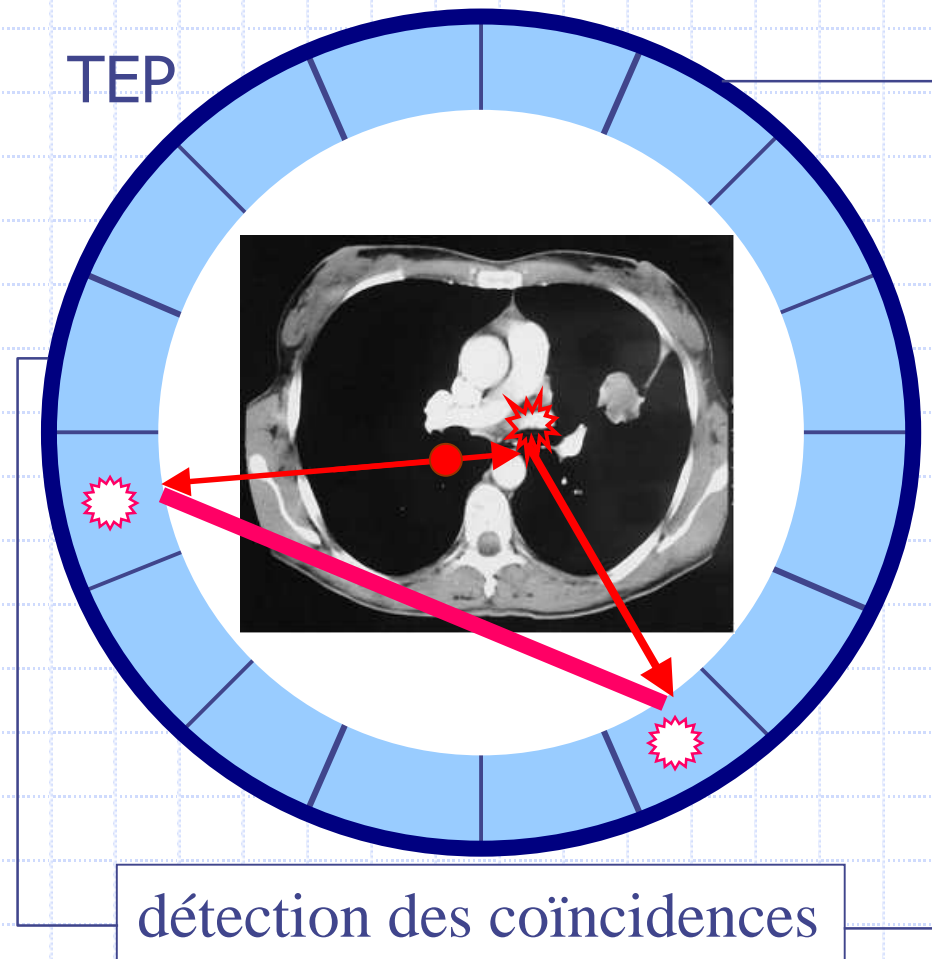
# ATTENUATION COMPTON

TEMP



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

TEP



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

# ATTENUATIONS

E (keV)	CDA <sub>eau</sub> (cm)
70	3
511	7

Flou

Sous-estimation  
des activités profondes

$$\mu_C \approx k' \rho$$

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

La correction  
nécessite la  
connaissance  
des  $\rho$  traversés



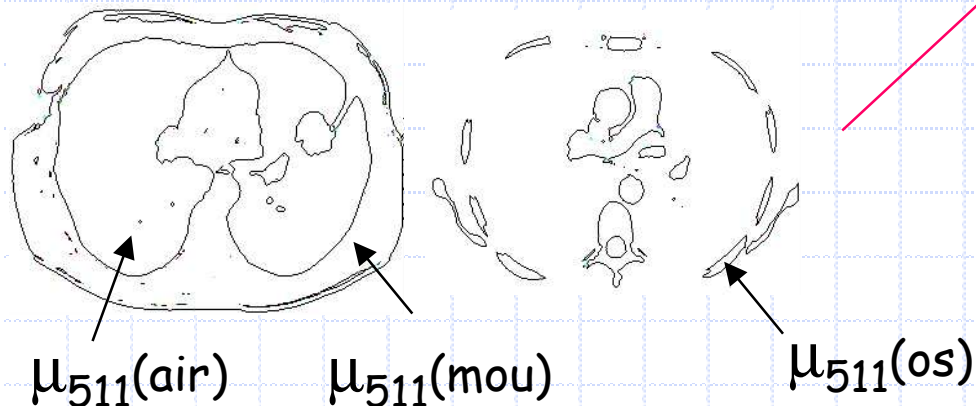
# CORRECTION DE L'ATTÉNUATION



imagerie  
multi-modale



Identification de 3 phases par seuillage de la TDM



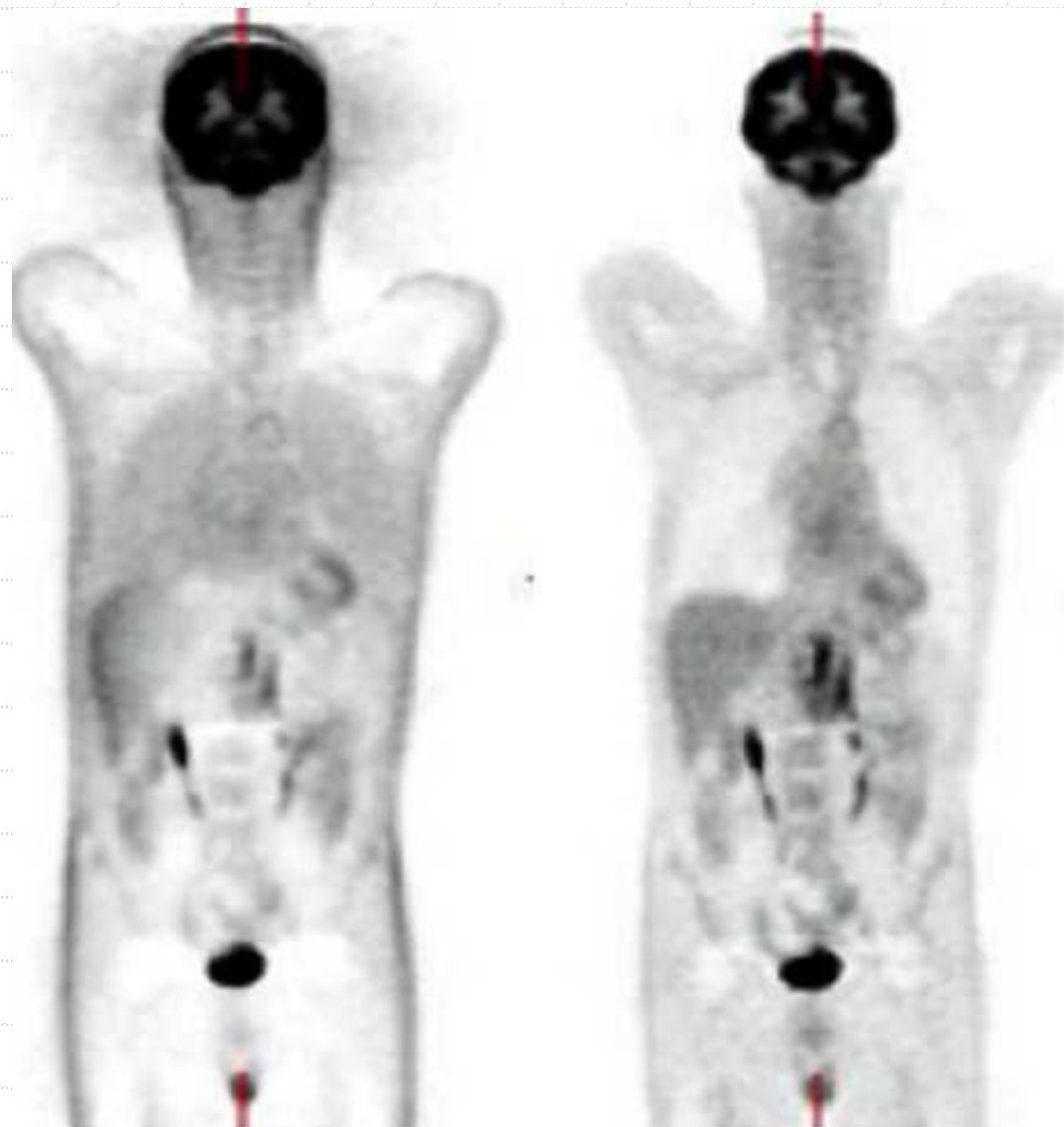
Correction par un facteur  
 $\exp(\mu_{os}x_{os} + \mu_{mou}x_{mou} + \mu_{air}x_{air})$

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



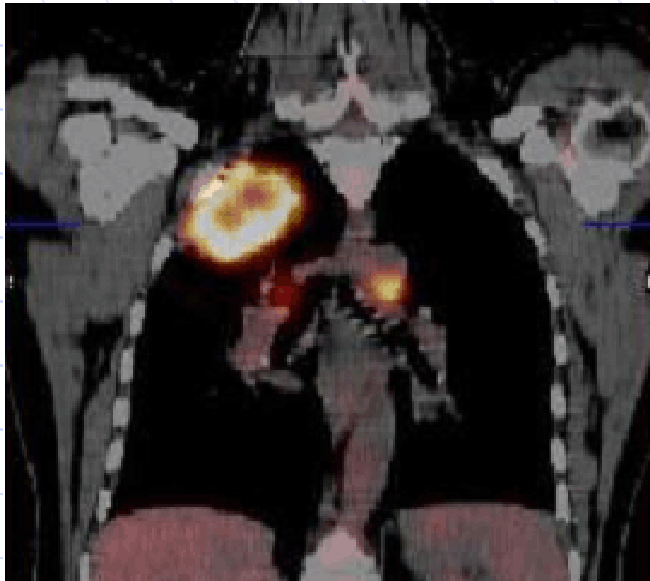
# RESULTATS

- **Correction d'artefacts**



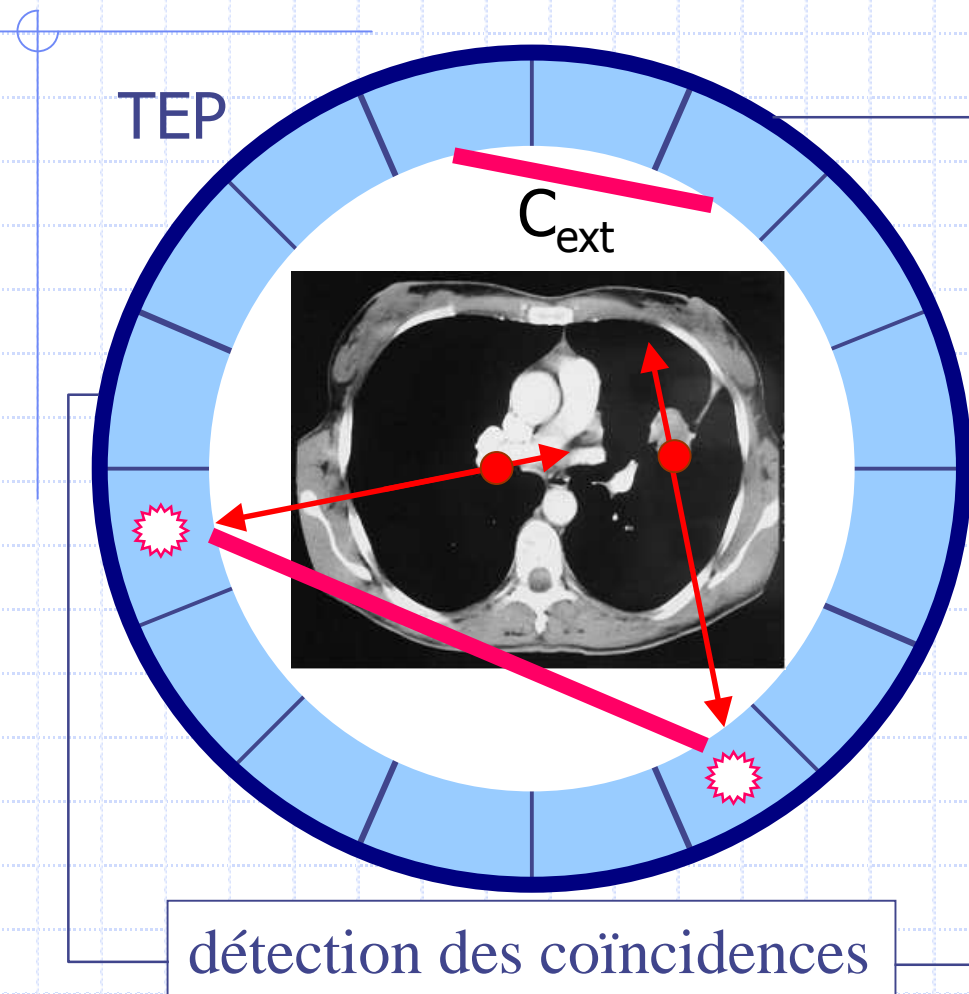
# RESULTATS

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



- **Interprétation multimodale**

# COINCIDENCES FORTUITES



Corrections possibles :

1- en retranchant  $C_{ext}$

2- A partir des comptages totaux  $T$  :

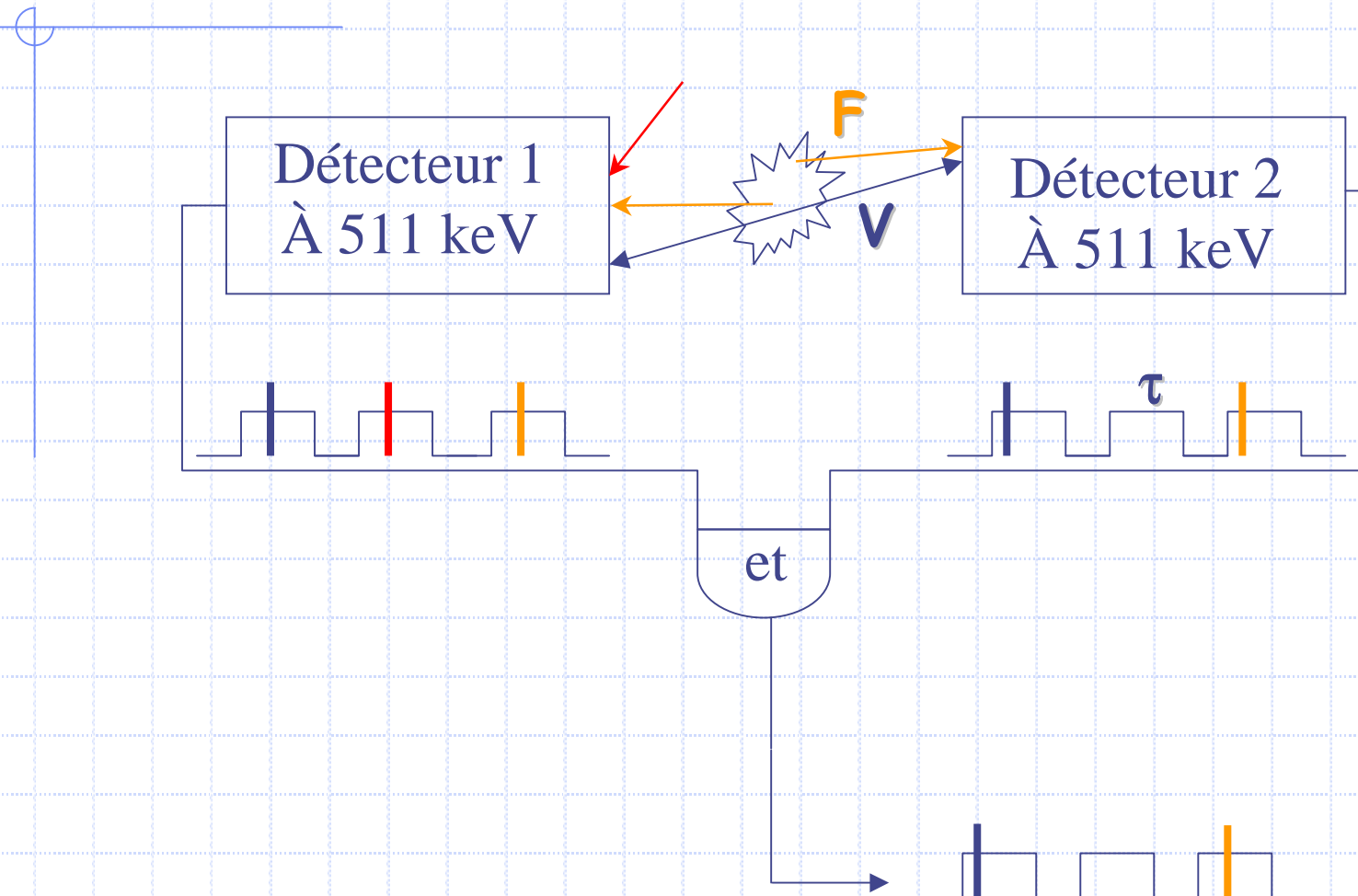
$$F = 2.\tau.T(d1)T(d2) \propto A^2$$

3- Par fenêtre décalée

Cet artefact ne concerne que l'imagerie en coïncidence TEP

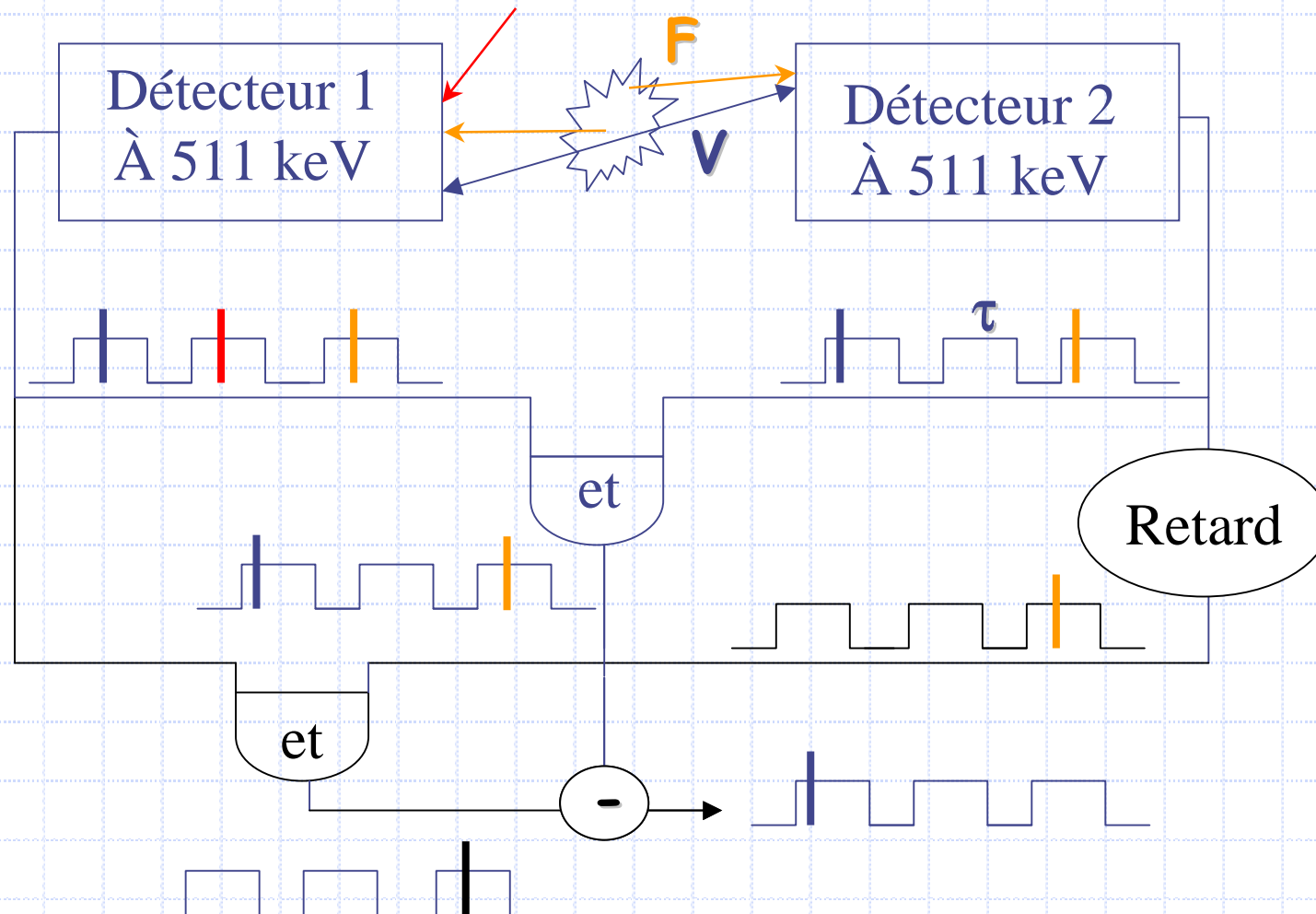
Diapositive  
masquée

# COINCIDENCES FORTUITES



Diapositive  
masquée

# COINCIDENCES FORTUITES



# SYNTHESE 2

- ◆ Détecteurs de  $\gamma$  : 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 $\gamma$	TEMP-CZT $\gamma$	TEP $\beta^+$
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

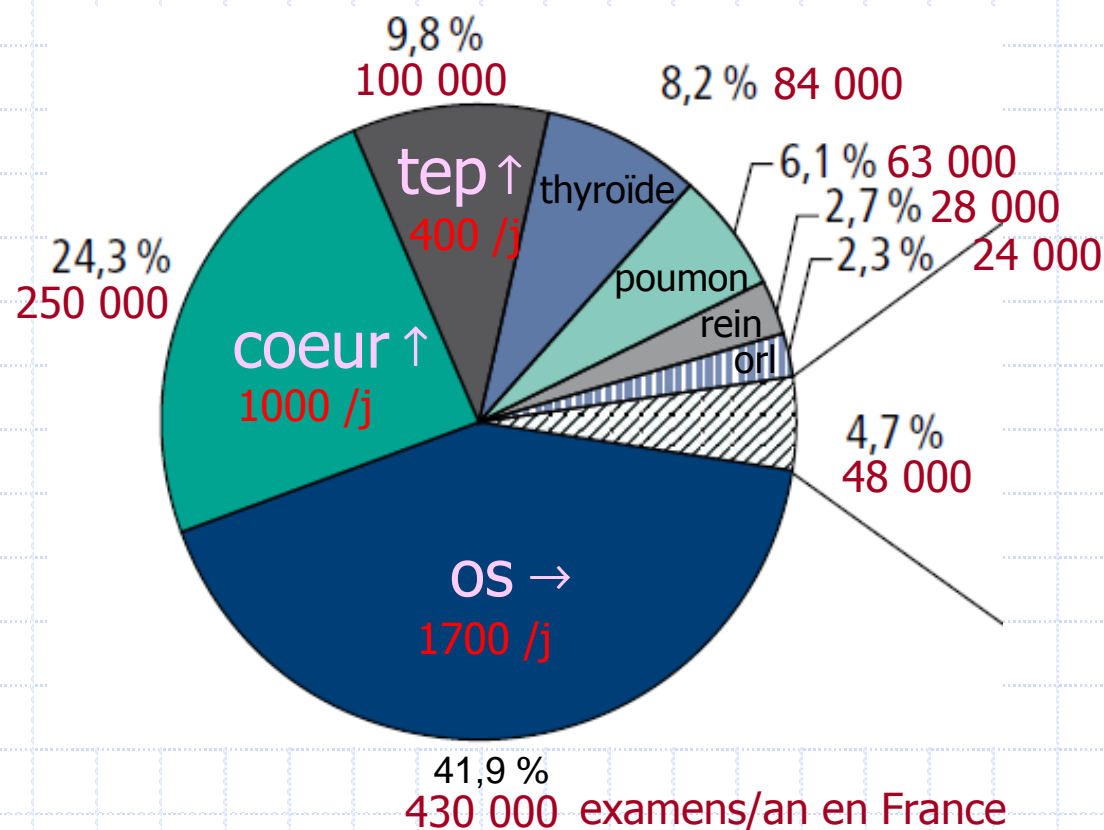


## Exemple de scintigraphies diagnostiques

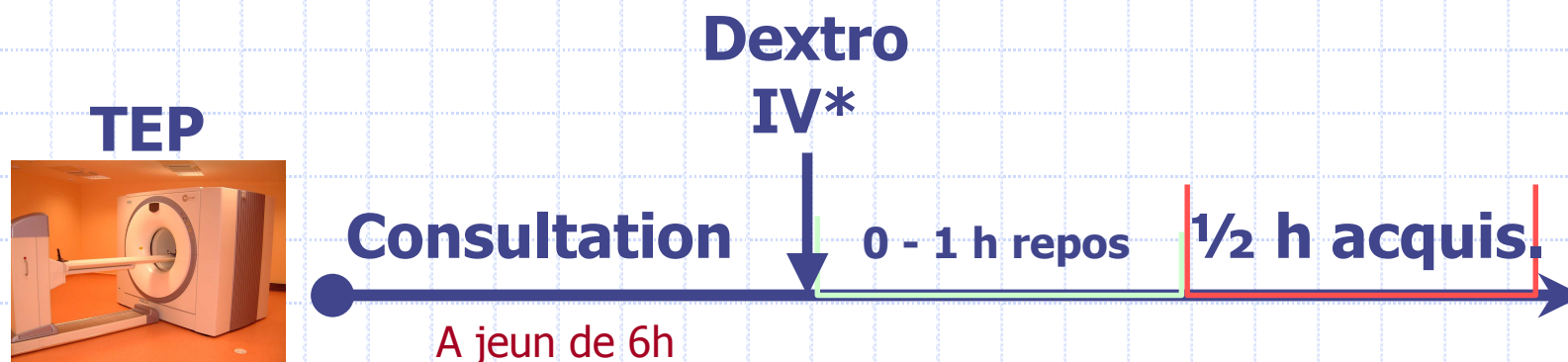
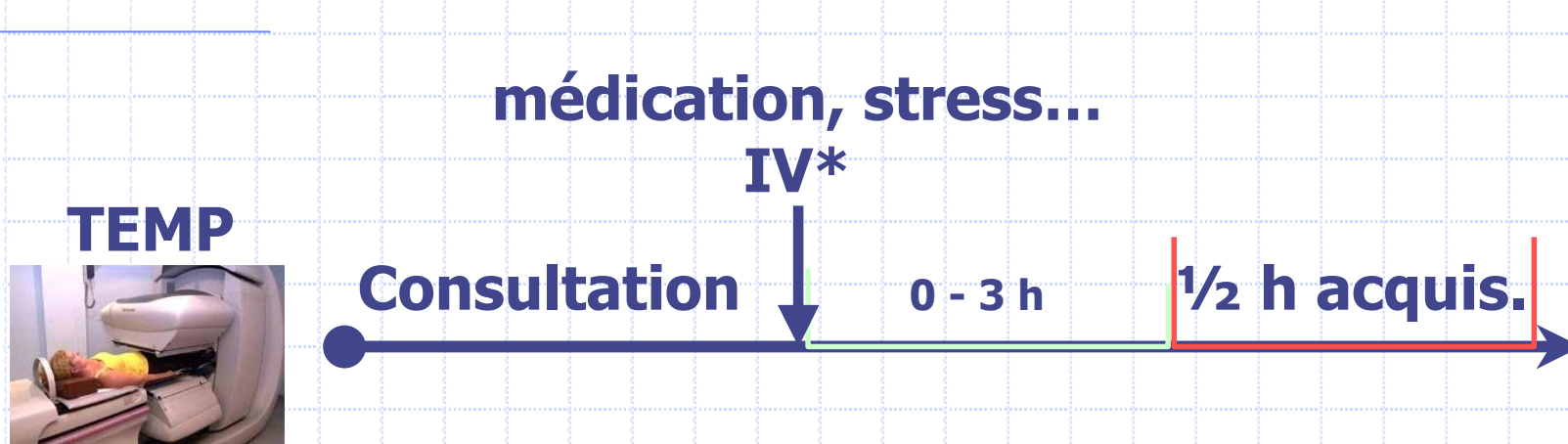
Os, thyroïde, cœur, poumon, rein,  
cerveau, cancers, infections...

# SCINTIGRAPHIES FREQUENTES

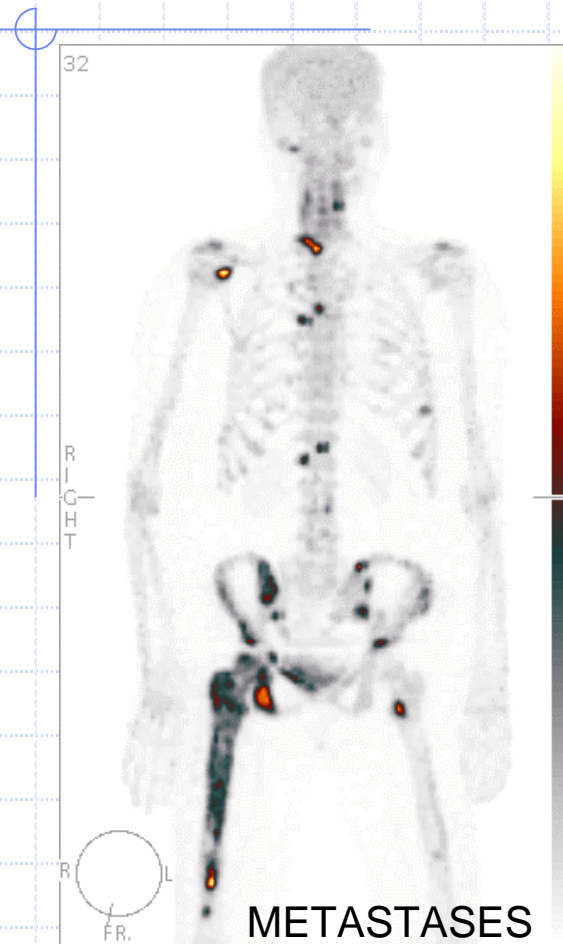
France, 2007: 1 million de scintigraphies (33 millions monde)



# DEROULEMENT D'UN EXAMEN



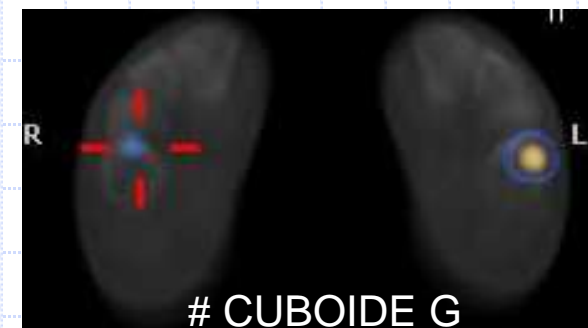
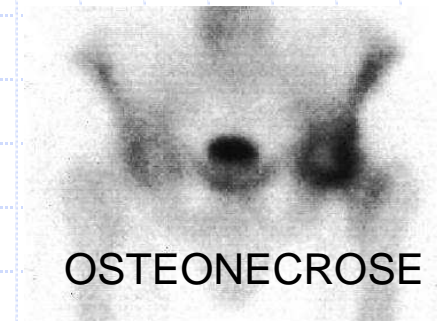
# REMODELLEMENT OSSEUX



BIPHOSPHONATE-  $^{99m}\text{Tc}$



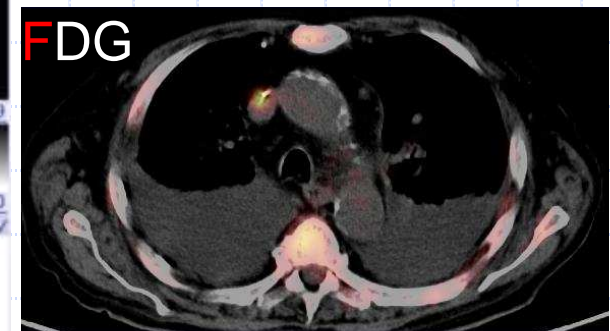
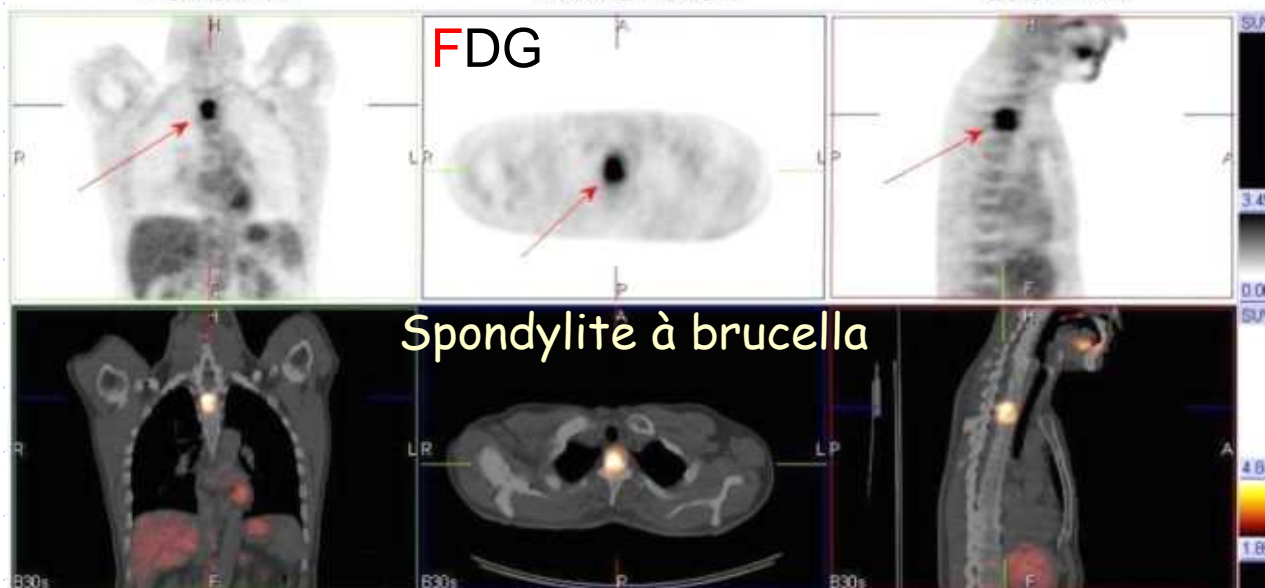
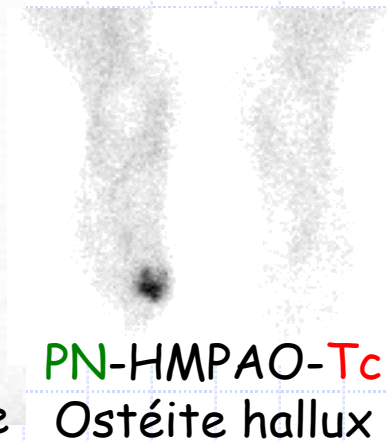
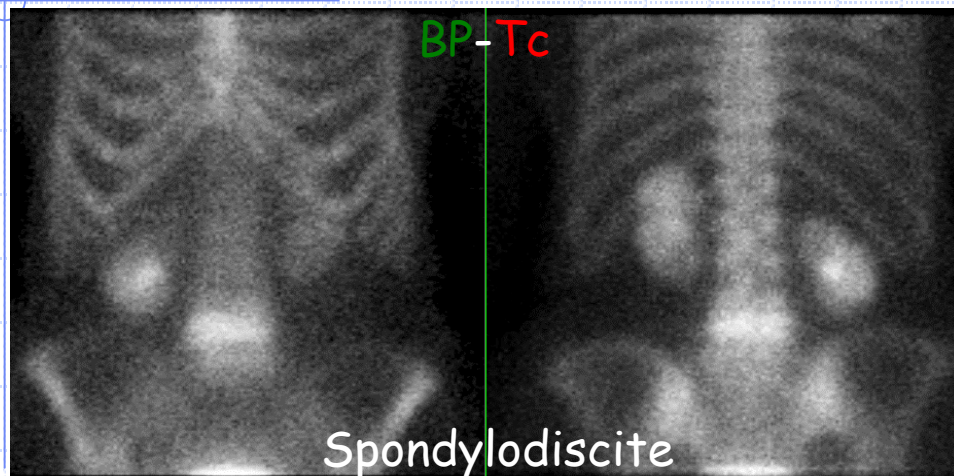
$^{18}\text{F}$ -Na



BIPHOSPHONATE-  $^{99m}\text{Tc}$

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

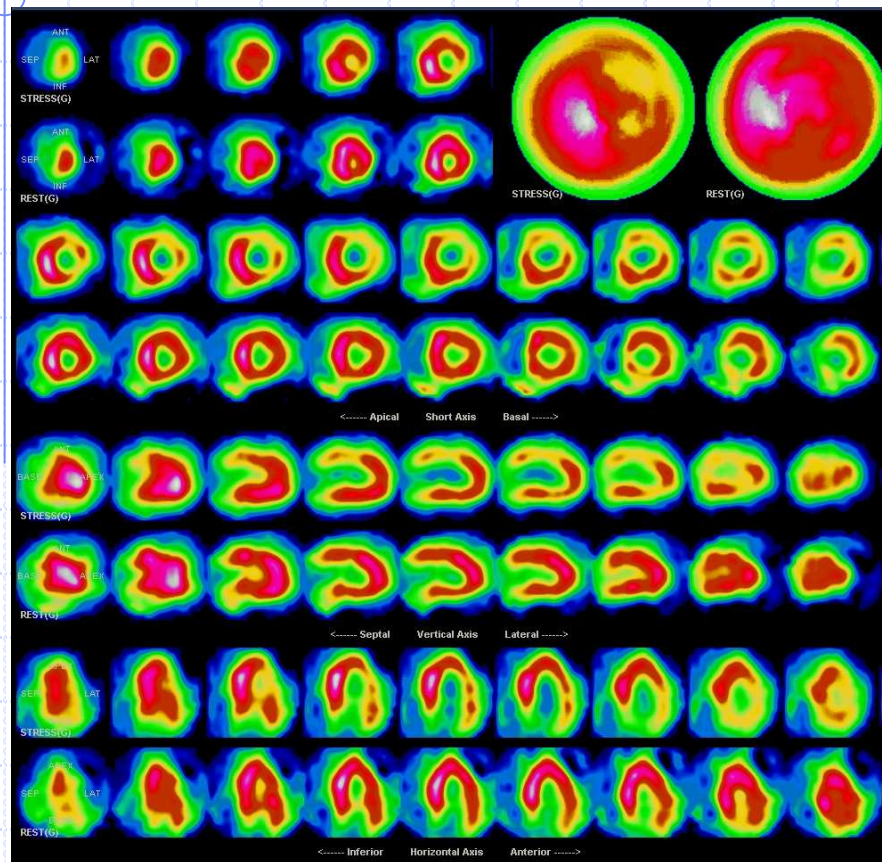
# PATHOLOGIES INFECTIEUSES



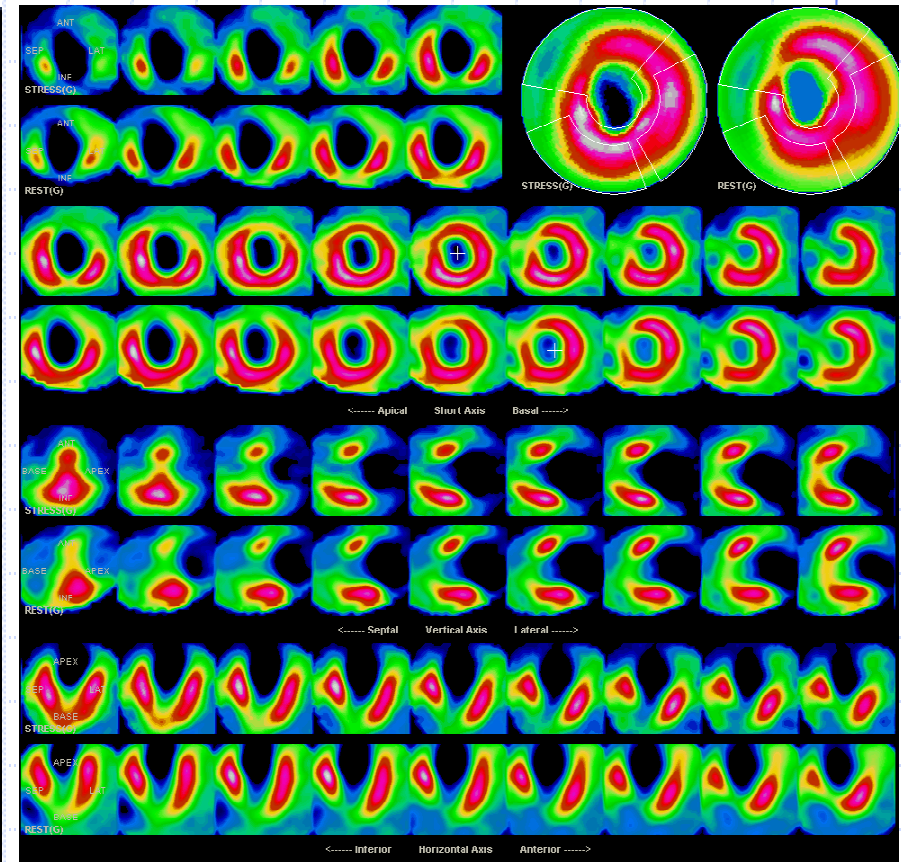
Infection VCS sur cathéter



# PERFUSION MYOCARDIQUE



ISCHEMIE ANTERO-LATERALE



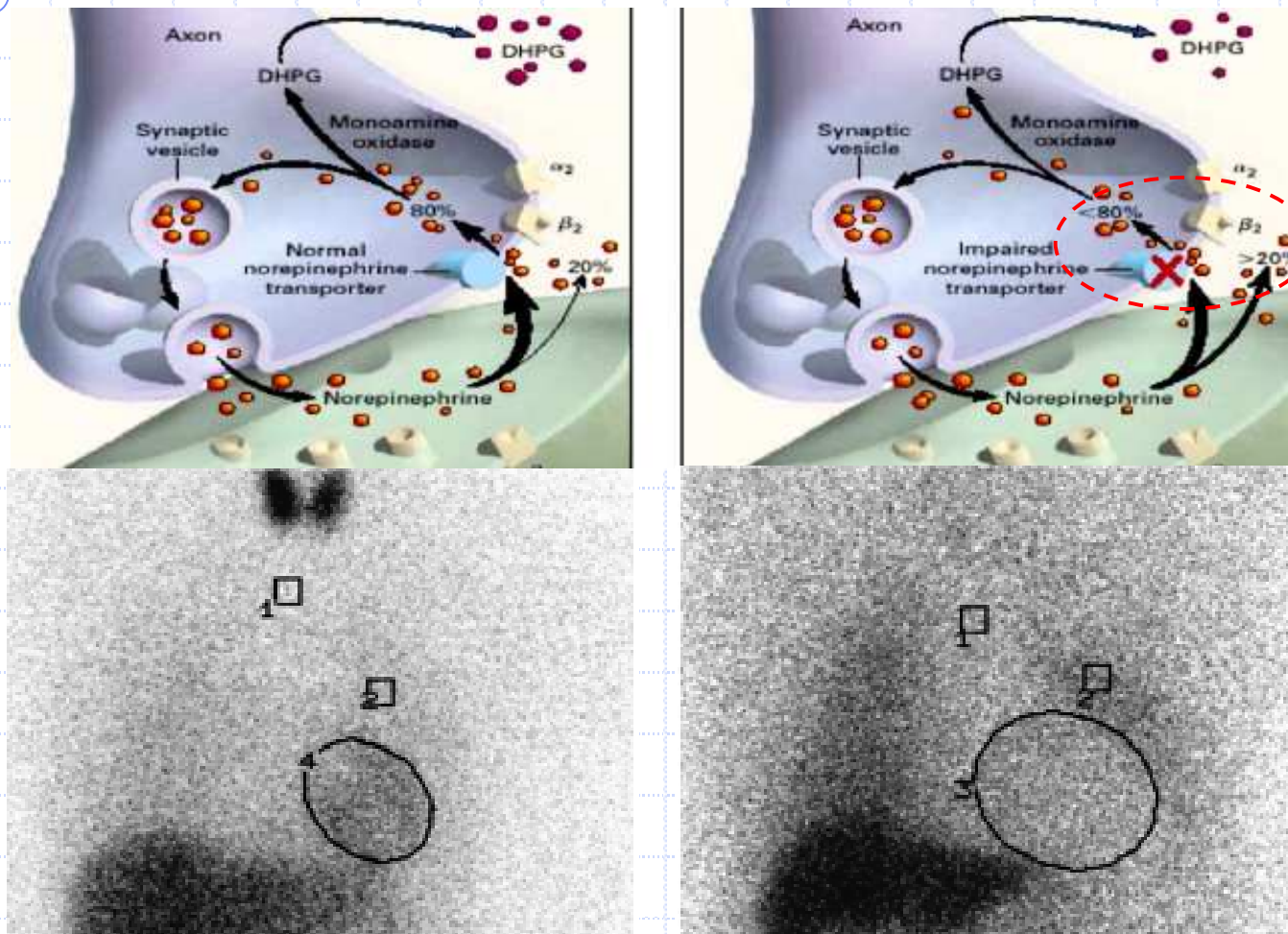
NECROSE APICALE

CATION LIPOPHILE —  $^{99m}\text{Tc}$  ou  $^{201}\text{Tl}$

Indications : coronaropathies



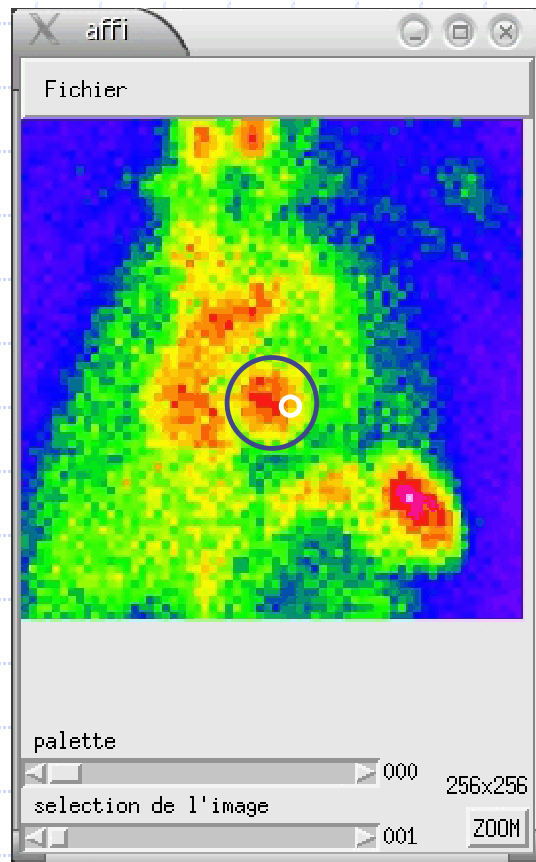
# INNERVATION MYOCARDIQUE



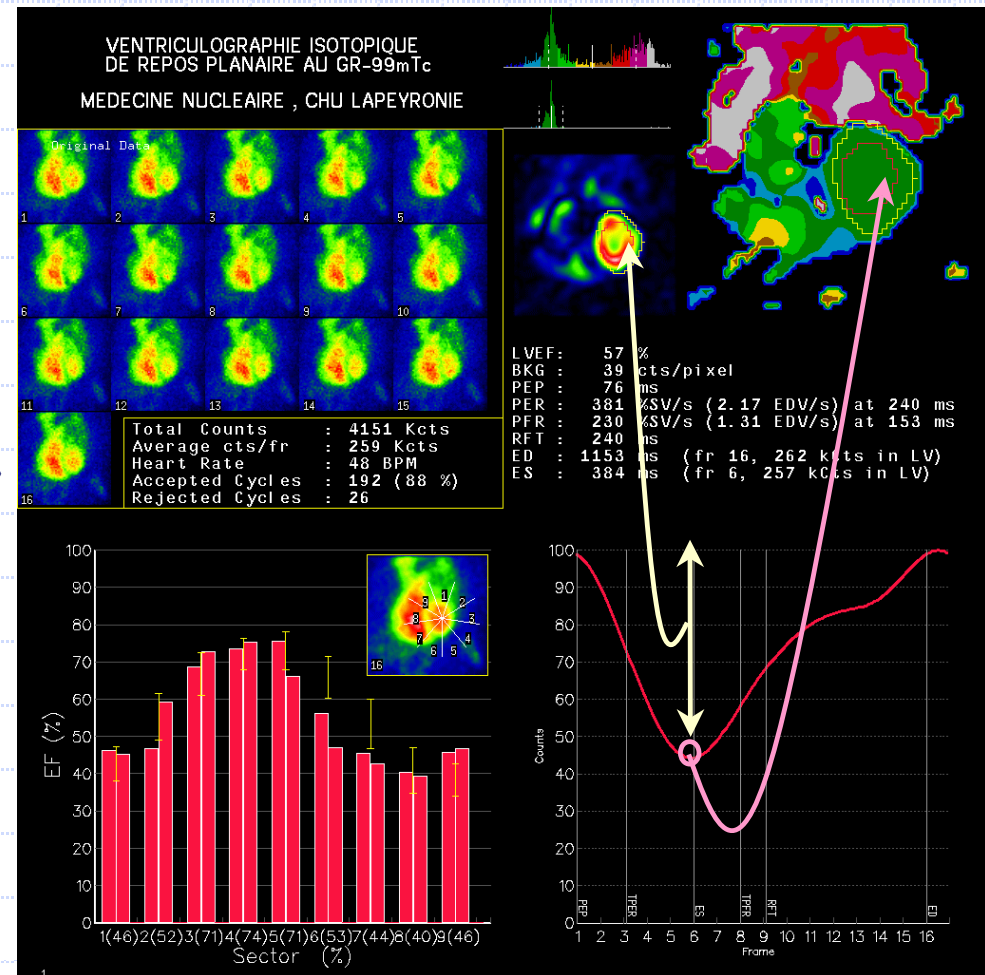
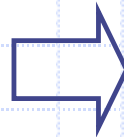
Indications : insuffisance cardiaque

MIBG -  $^{123}\text{I}$

# CONTRACTION CARDIAQUE

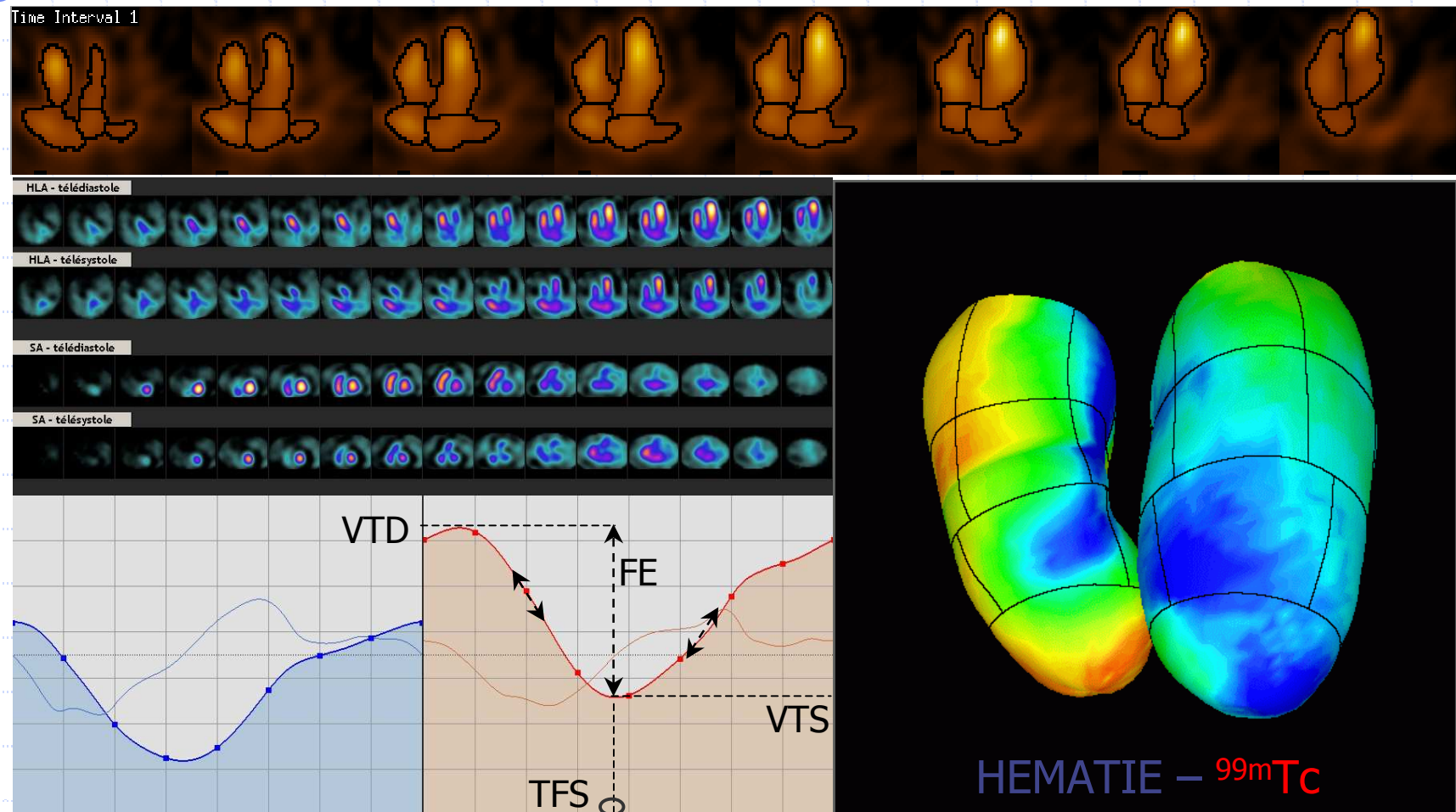


HEMATIE — <sup>99m</sup>Tc



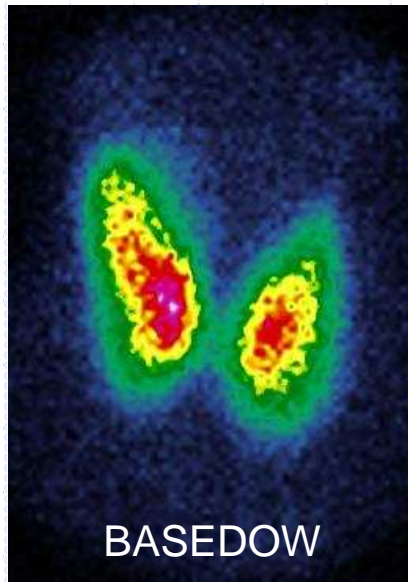
Indications : insuffisance cardiaque

# CONTRACTION CARDIAQUE

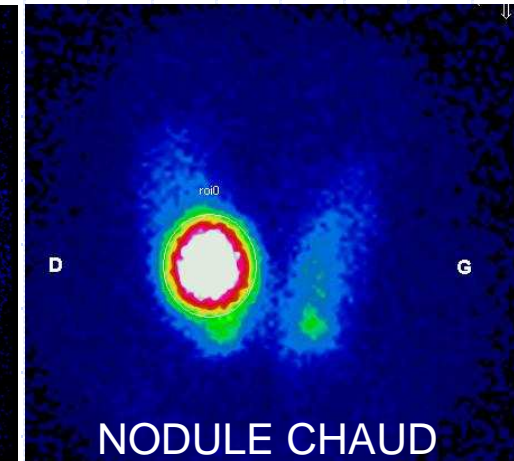
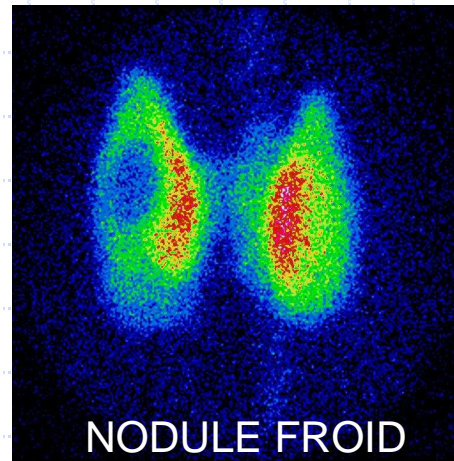


Indications : insuffisance cardiaque

# NODULES THYROIDIENS



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



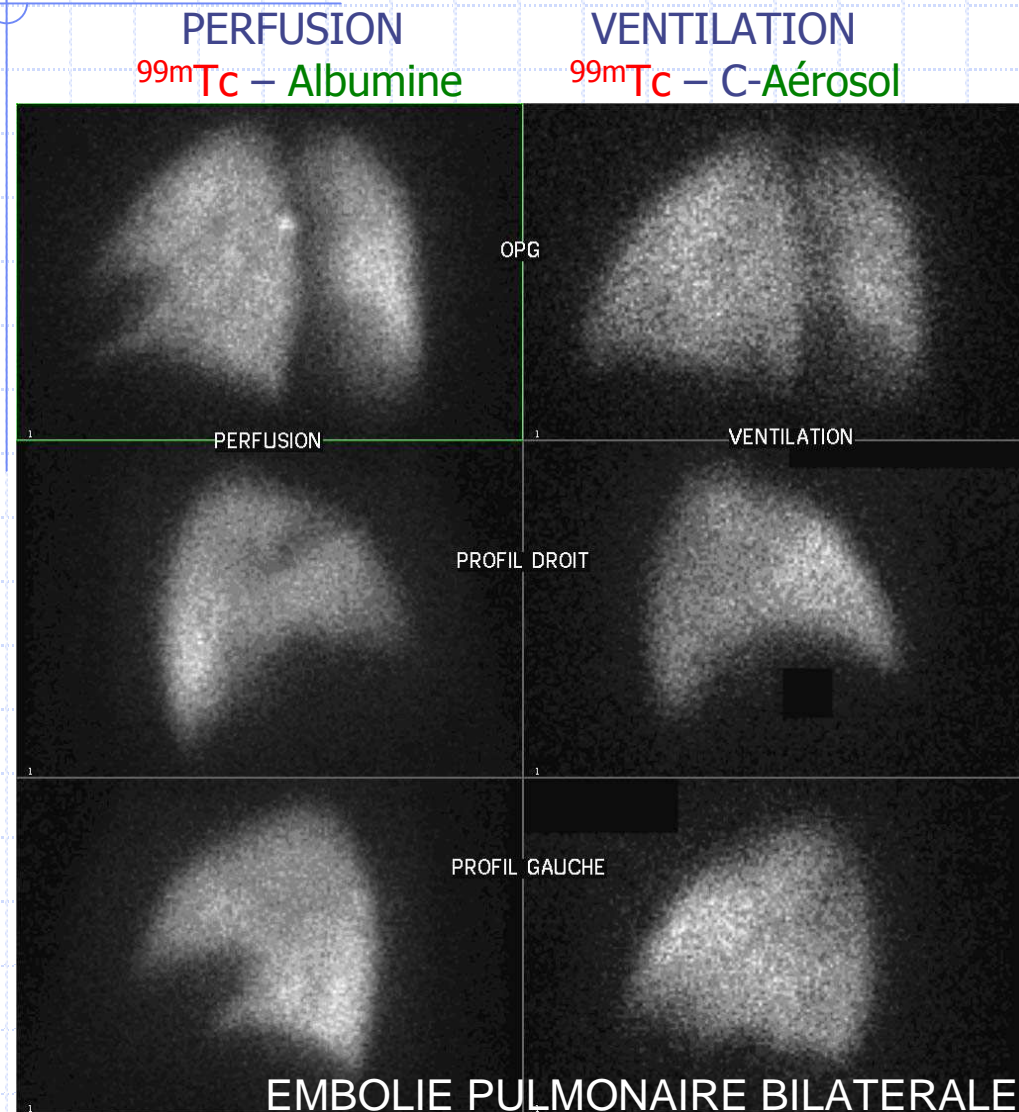
cancer  $\Rightarrow$  froid  
chaud  $\Rightarrow$  bénin

mais une ponction  
sous échographie  
est plus efficace

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



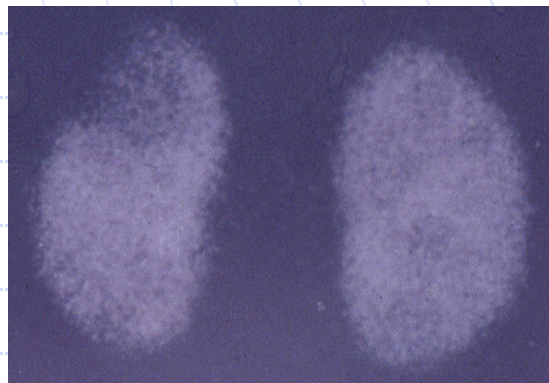
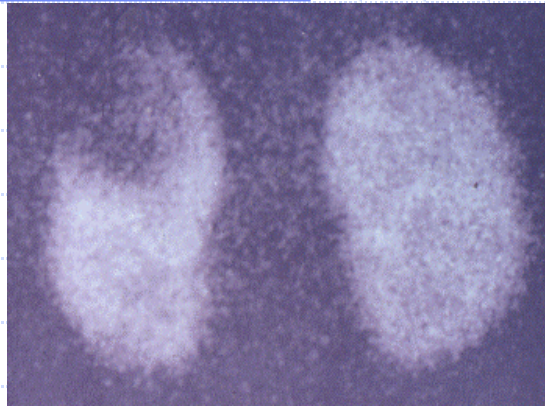
# VENTILATION ET PERFUSION PULMONAIRES



## Indications :

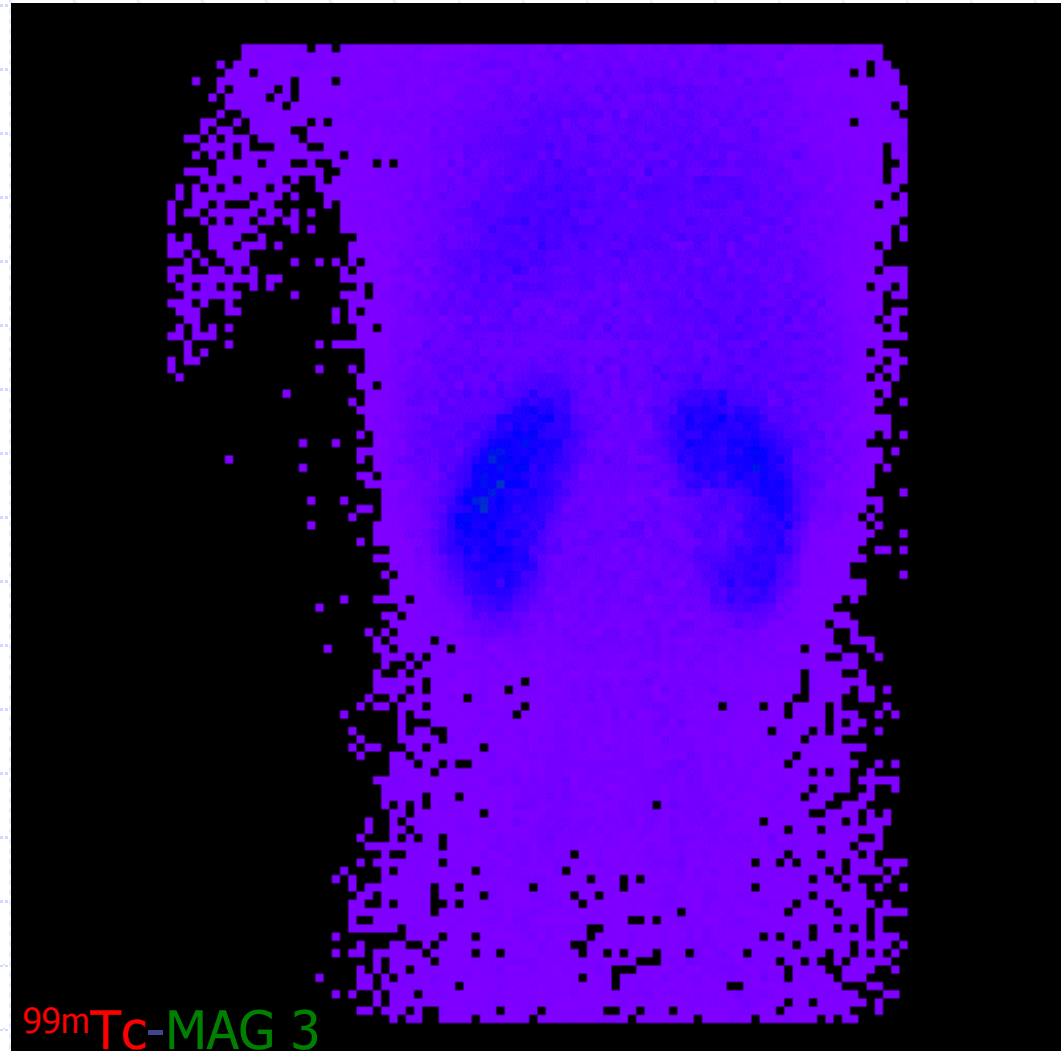
Embolie pulmonaire,  
HTAP,  
Pré-lobectomie,  
Malformations

# SCINTIGRAPHIES RENALES



$^{99m}\text{Tc}$ -DMSA

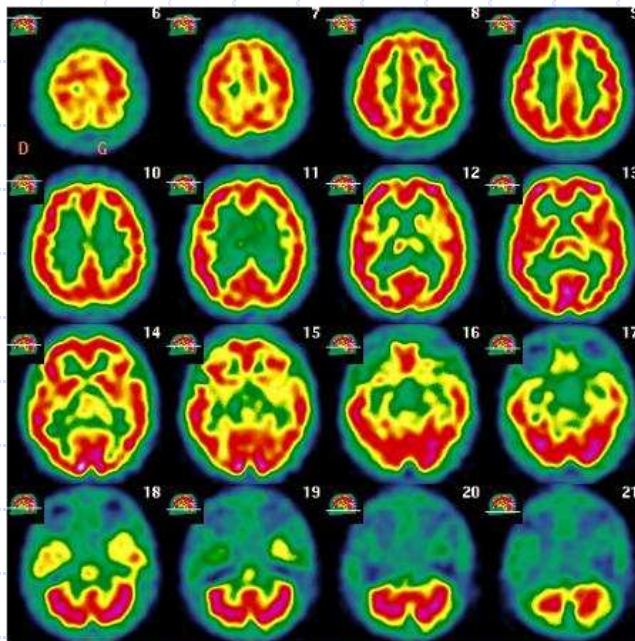
Indications :  
Pyélonéphrites,  
obstacles, HTA,...



$^{99m}\text{Tc}$ -MAG 3

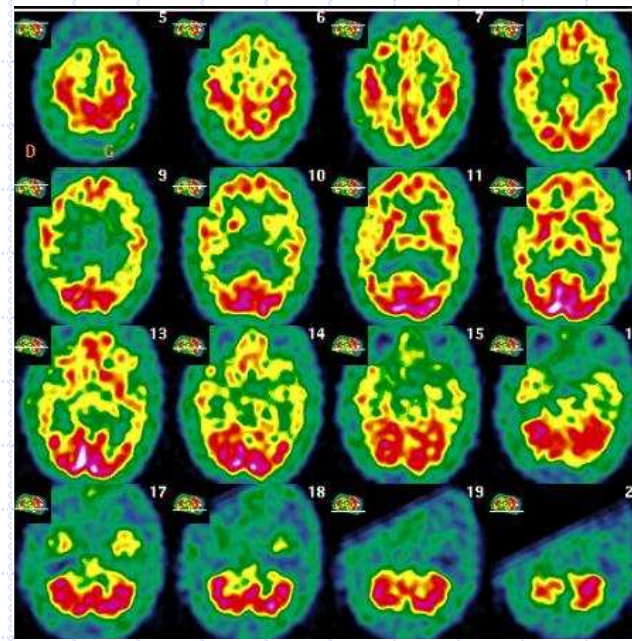


# SCINTIGRAPHIES CÉRÉBRALES

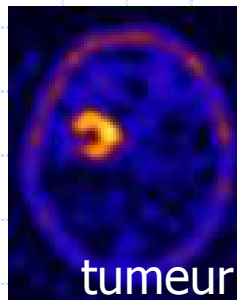


normal

m99Tc-ECD



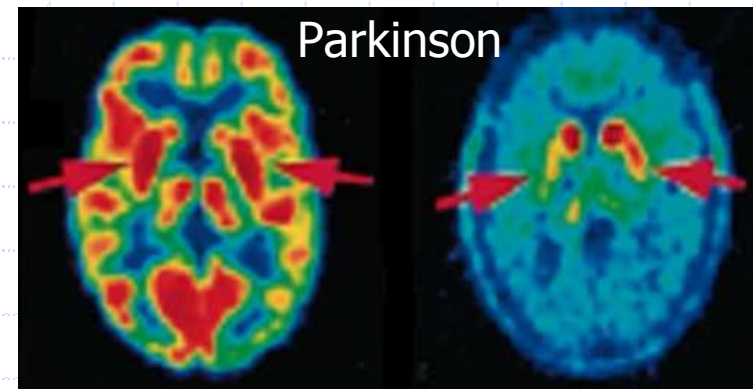
Alzheimer



201 Tl

Indications :

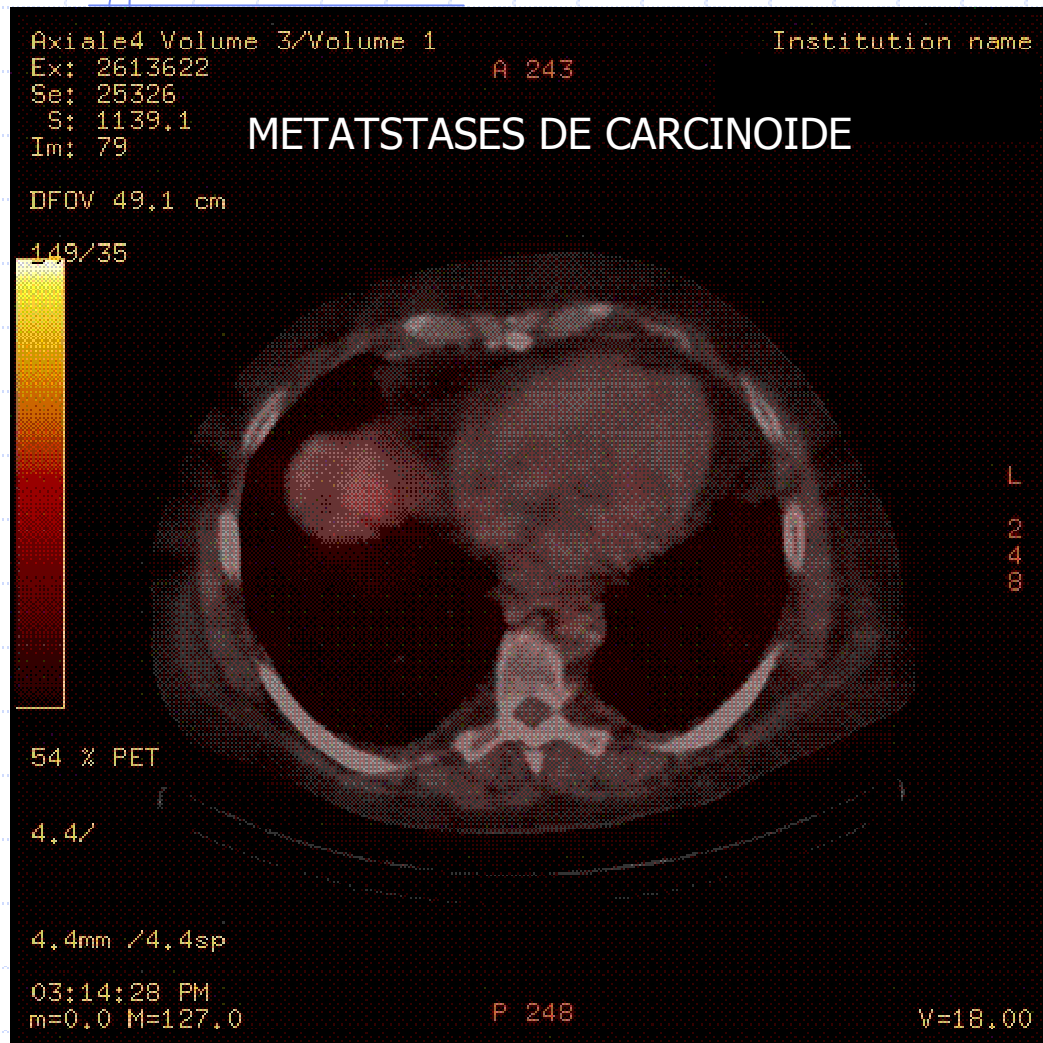
Démences, Parkinson  
épilepsies, tumeurs.



18F-DG

18F-DOPA

# CANCERS TRES DIFFERENCIES

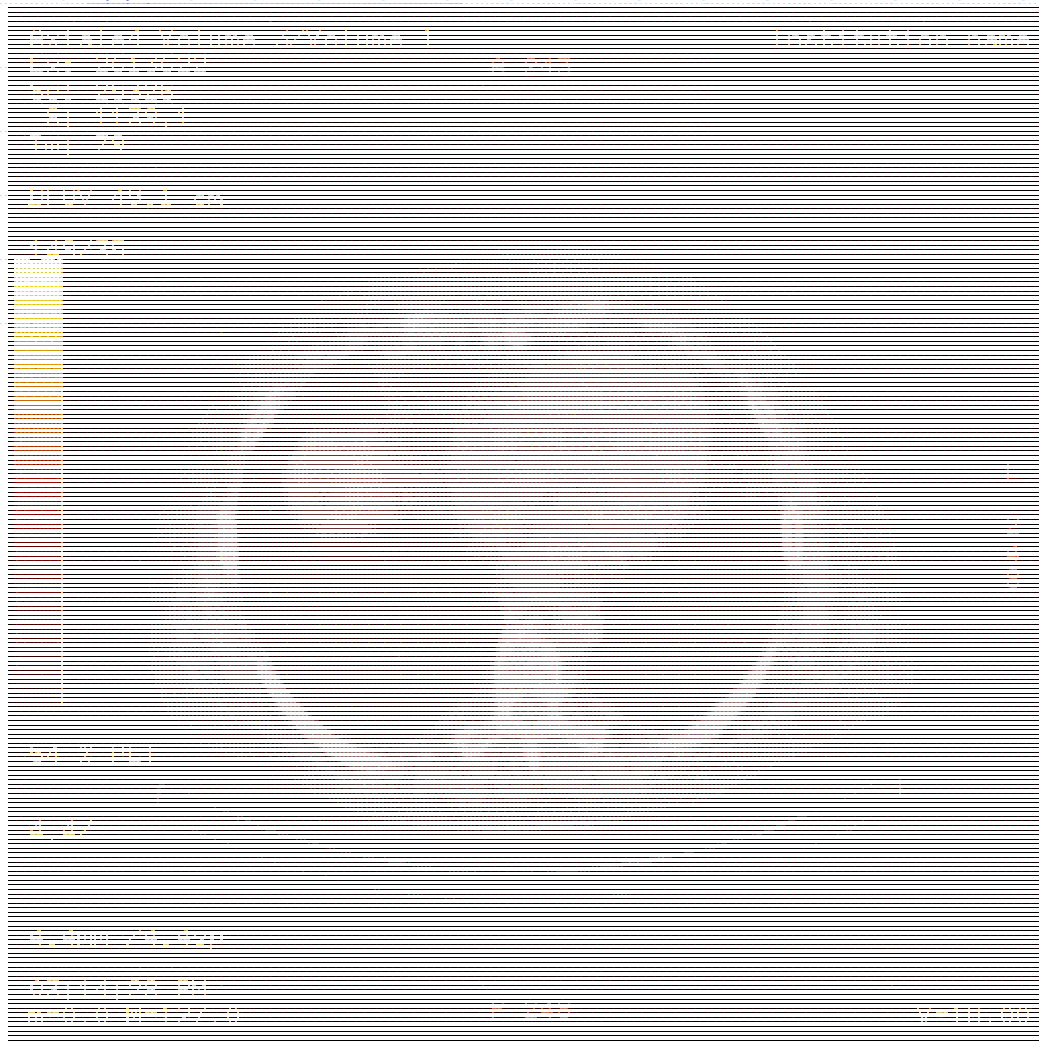


## Indications :

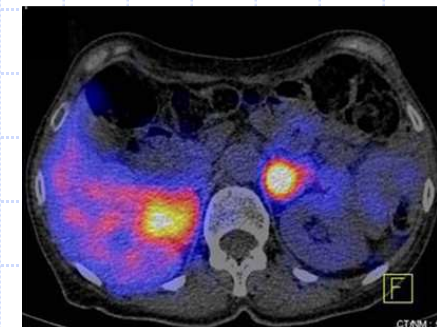
Tumeurs neuro-endocrines ou du tractus gastro-entéro-pancréatique

OCTREOTIDE - In 111

# CANCERS TRES DIFFERENCIES



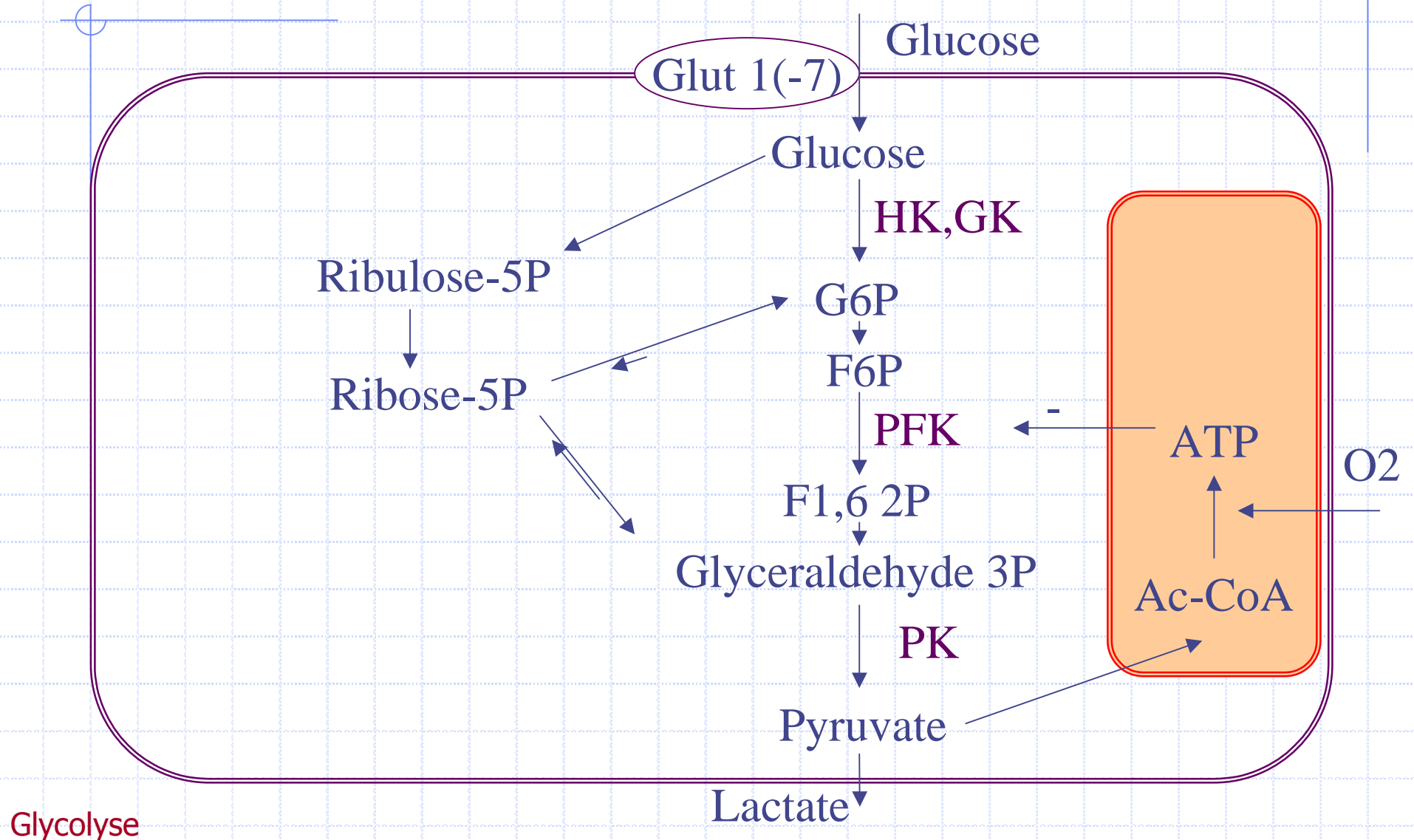
**$^{123}\text{I}$  - MIBG**



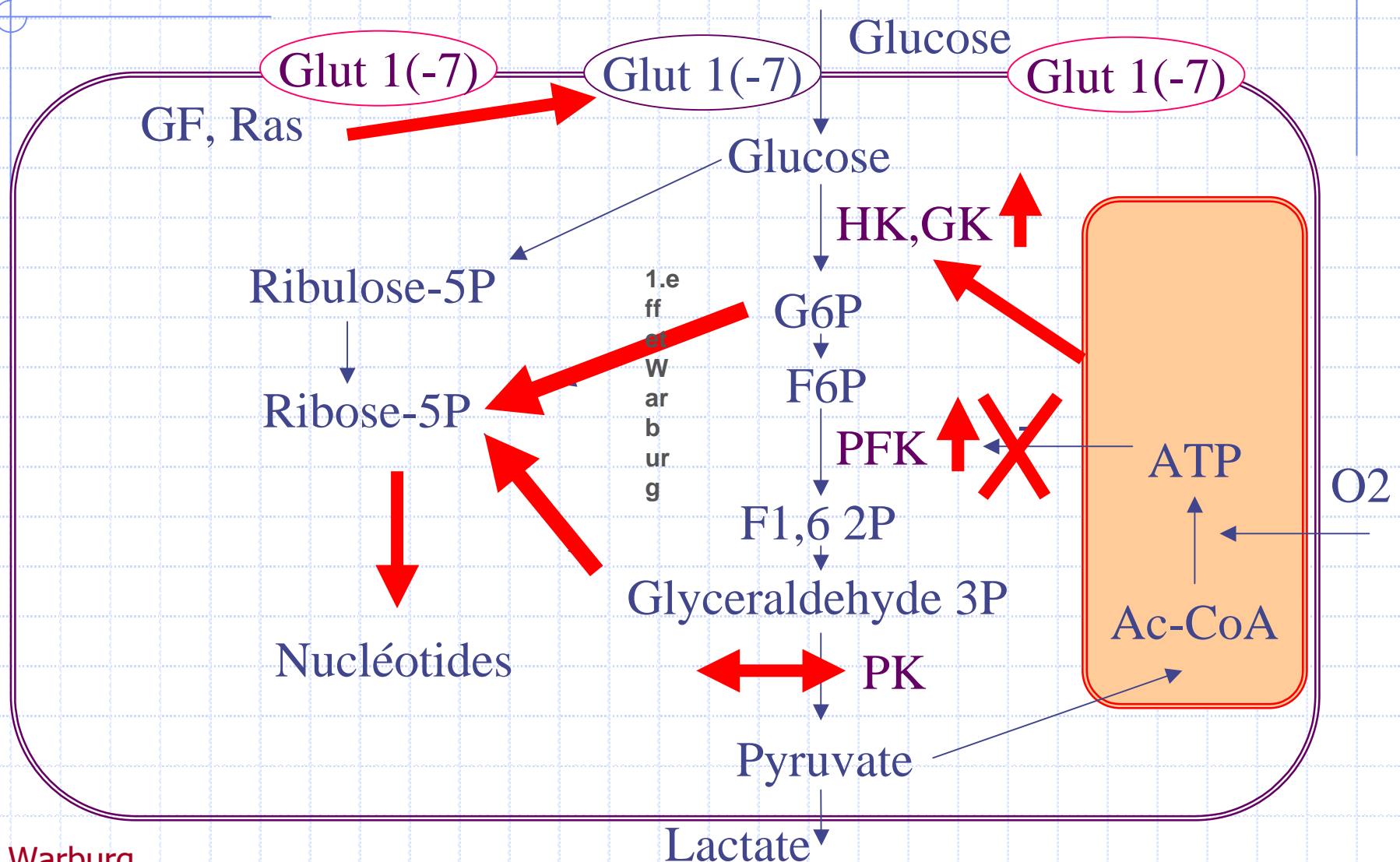
**Indications :**

**Phéochromocytome  
para-gangliome**

# CANCERS PEU DIFFERENCIÉS



# METABOLISME CELLULAIRE DU GLUCOSE



Effet Warburg

# Métabolisme du $^{18}\text{F}$ FDG

## ◆ Hyperfixation en cas de :

- ◆ Cancer
- ◆ Hypoxie
- ◆ Inflammation ou infection  
(risque de faux positif)

## ◆ Risque de faux négatifs si cancer :

- ◆ très différencié
- ◆ pauci-cellulaire
- ◆ infra-centimétriques (volume partiel)



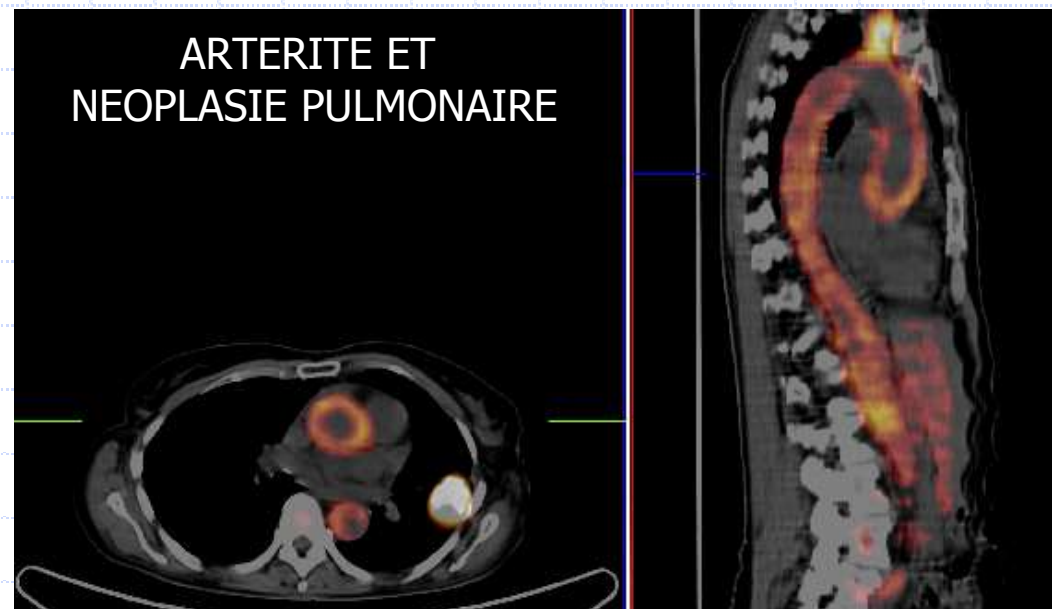
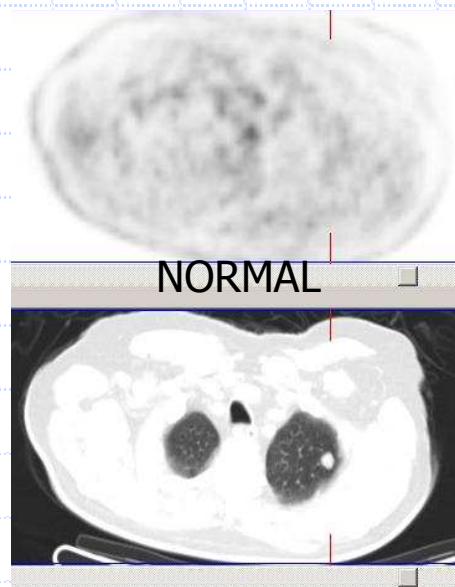
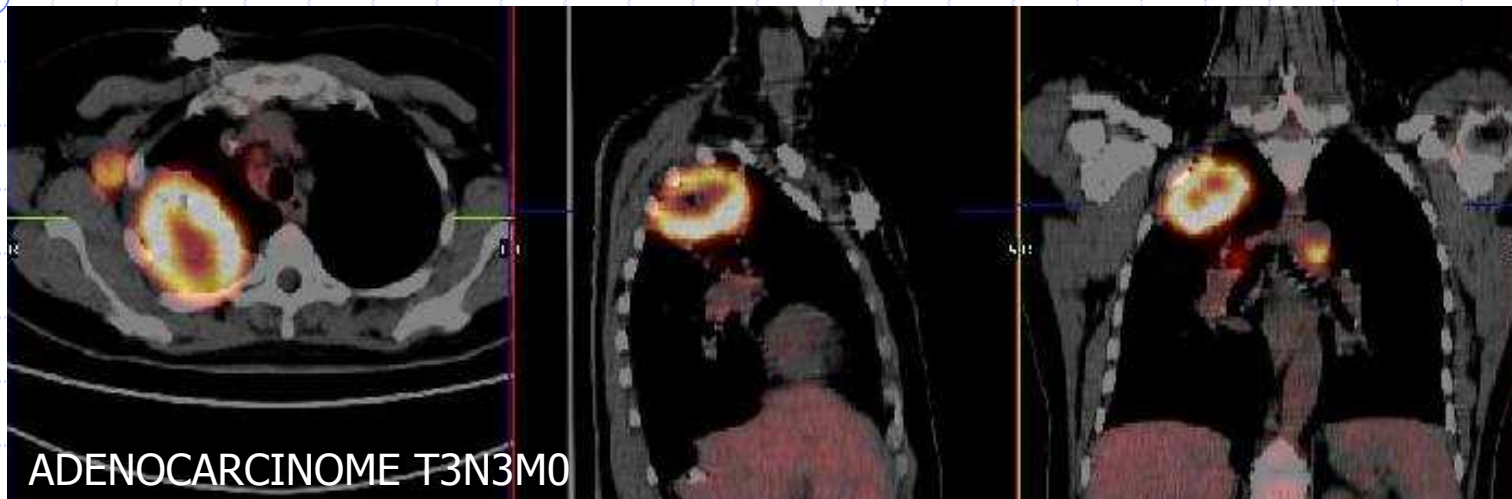


# INDICATIONS DE LA TEP $^{18}\text{F}$ FDG

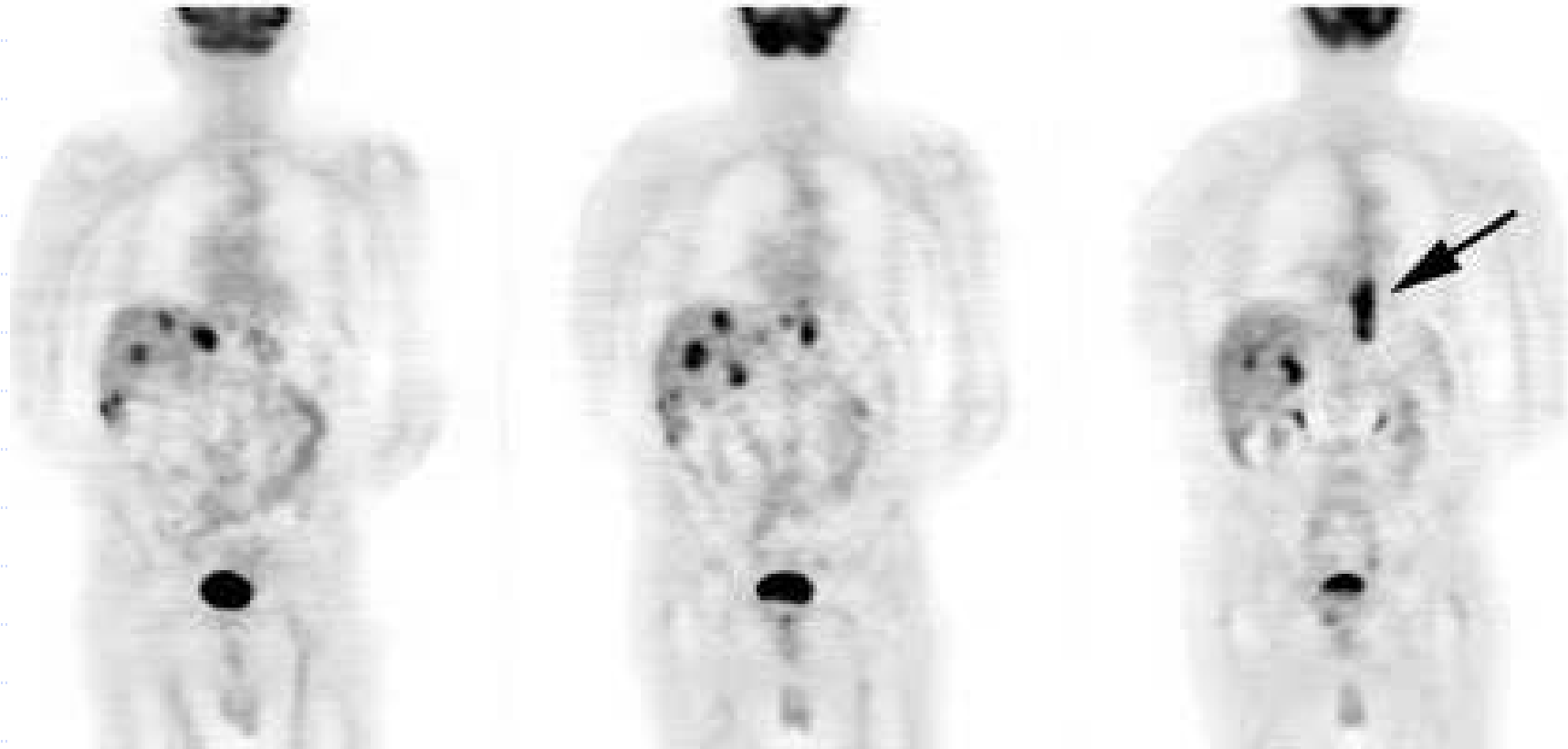
- ◆ **Diagnostic, bilan d'extension, suivi de cancers**
  - ◆ Pleuro-pulmonaires, lymphomes, ORL, mélanome
  - ◆ Digestifs, thyroïde, gynécologique, sarcome.
  - ◆ Suivi 3 mois après radiothérapie, 3 semaines après chimiothérapie
- ◆ **Cardiologie**
  - ◆ Viabilité myocardique
  - ◆ Perfusion myocardique
- ◆ **Neurologie**
  - ◆ **Epilepsies** pharmaco-résistantes
  - ◆ **Démences**
- ◆ **Pathologies infectieuses**
  - **Fièvre** prolongée d'origine indéterminée, tuberculose
- ◆ **Pathologies inflammatoires**
  - **Vascularites**, sarcoïdose



# EXEMPLES DE TEP $^{18}\text{F}$ FDG

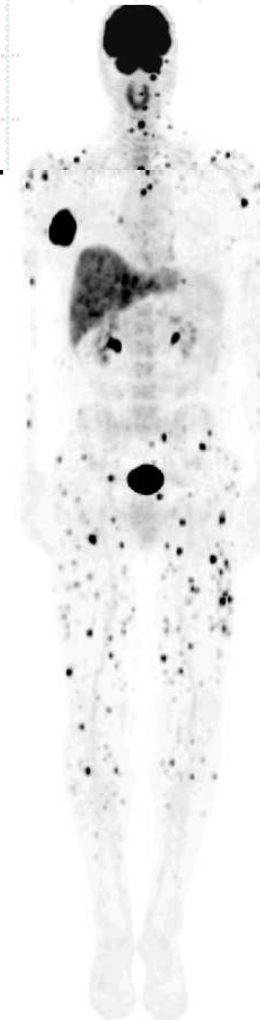
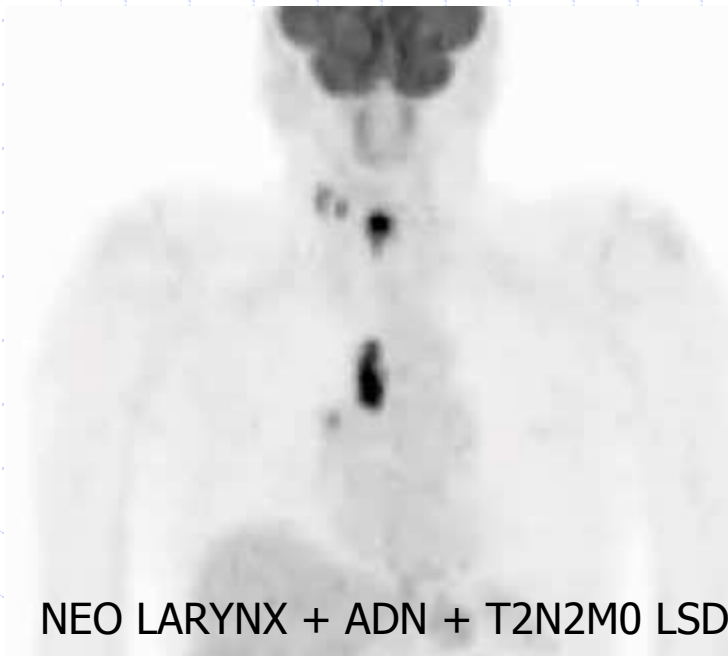
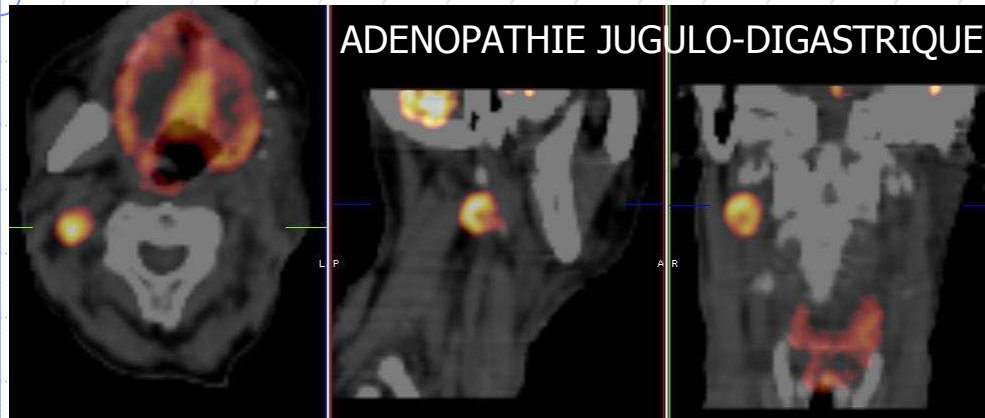


# EXEMPLES DE TEP $^{18}\text{F}$ FDG

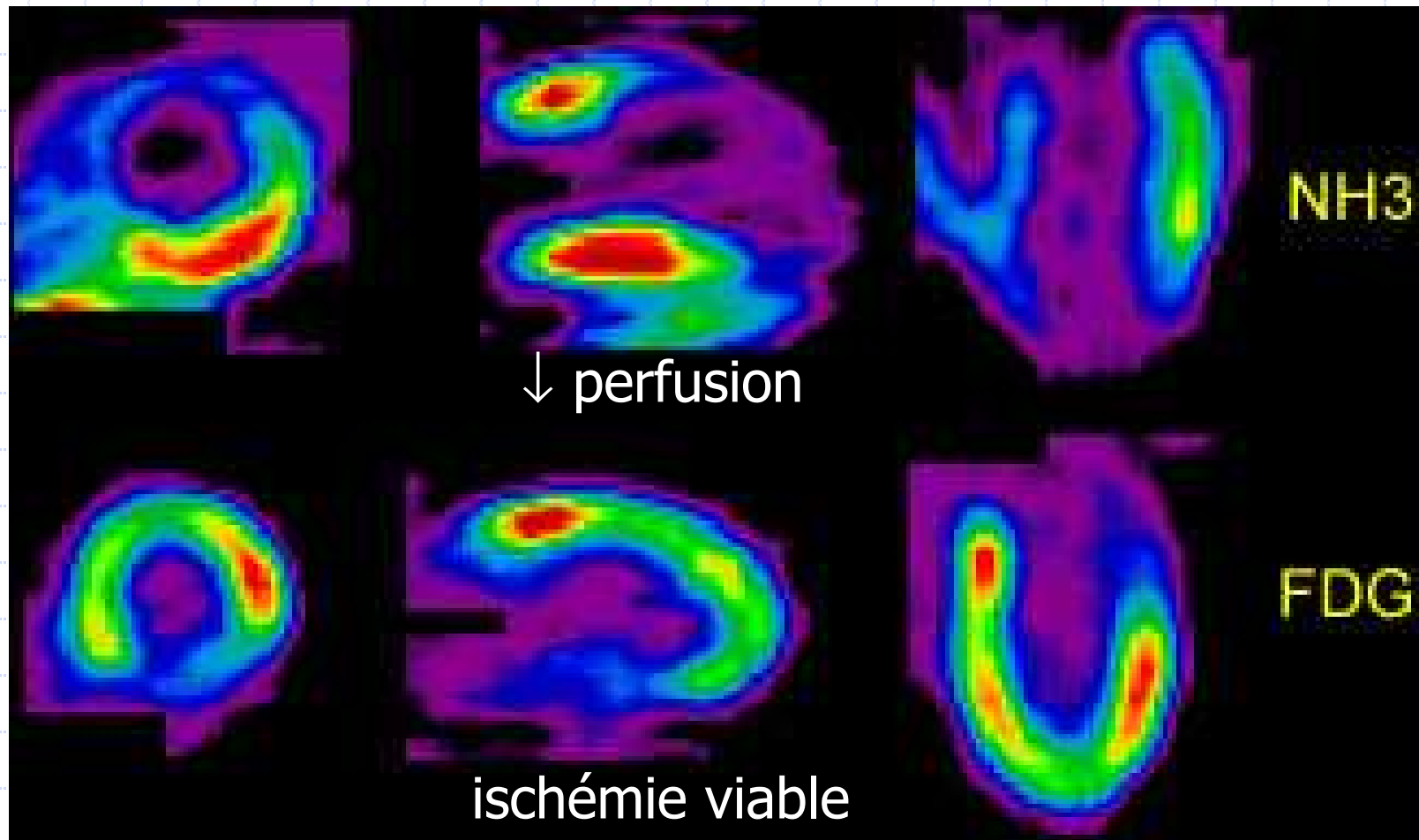


METASTASES HEPATIQUES D'UN CANCER DE L'OESOPHAGE

# EXEMPLES DE TEP $^{18}\text{F}$ FDG

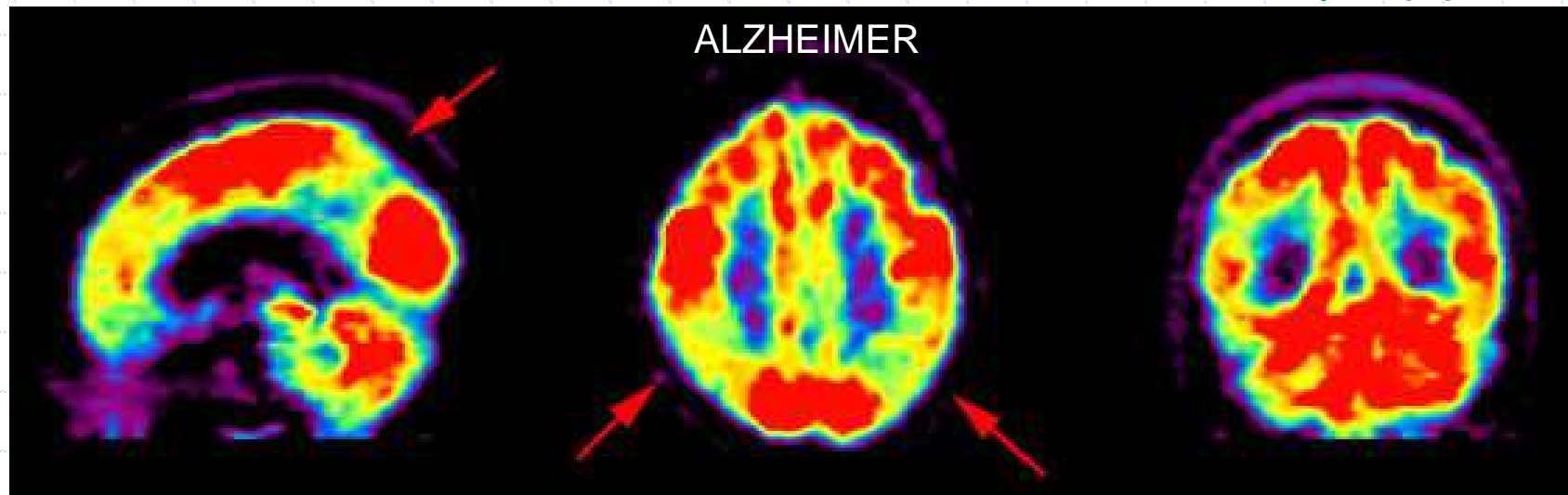
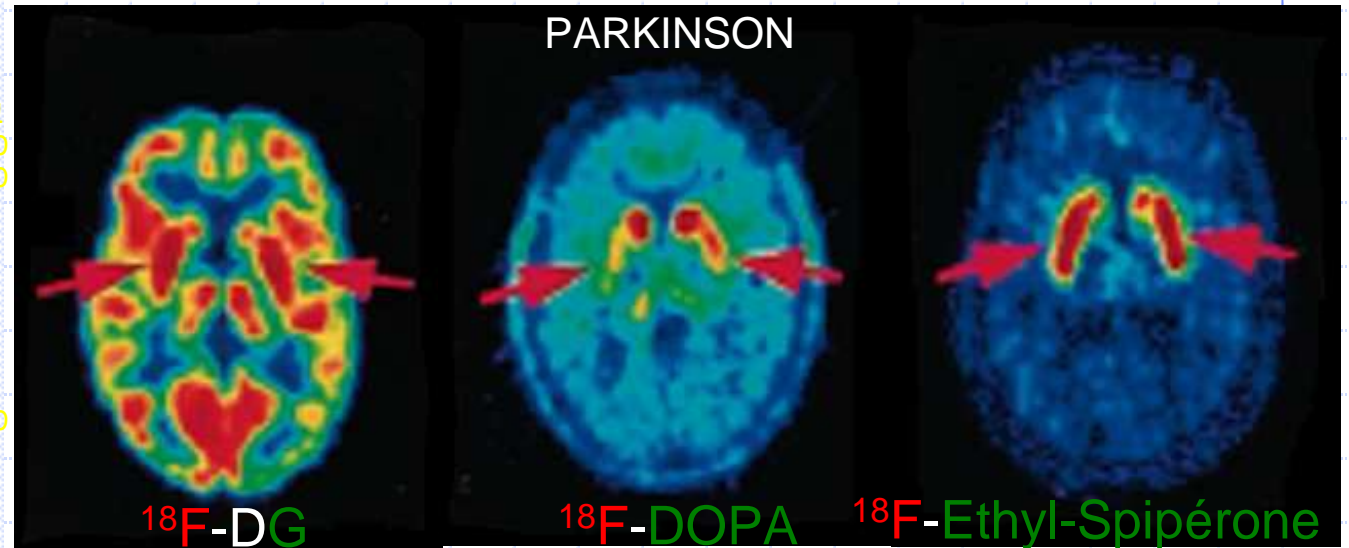
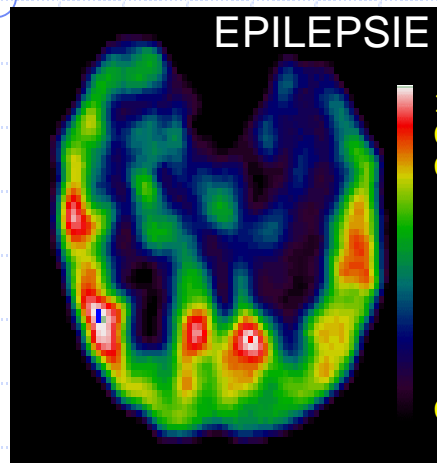


# EXEMPLES DE TEP $^{18}\text{F}$ FDG



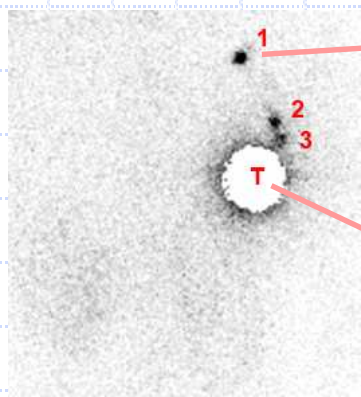
HIBERNATION ANTERO-SEPTO-APICALE

# EXEMPLES DE TEP $^{18}\text{F}$ FDG

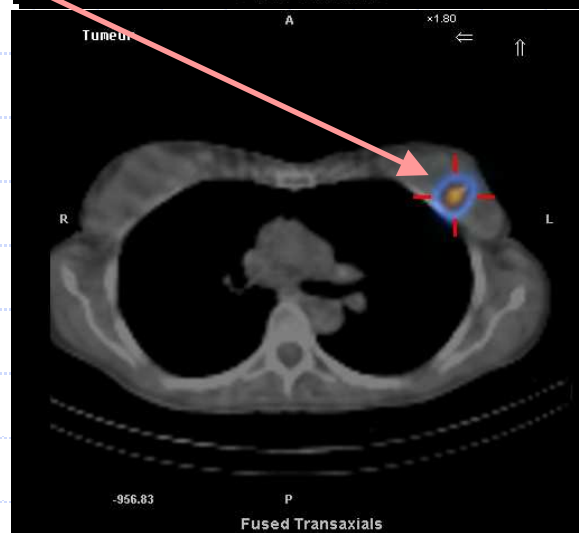
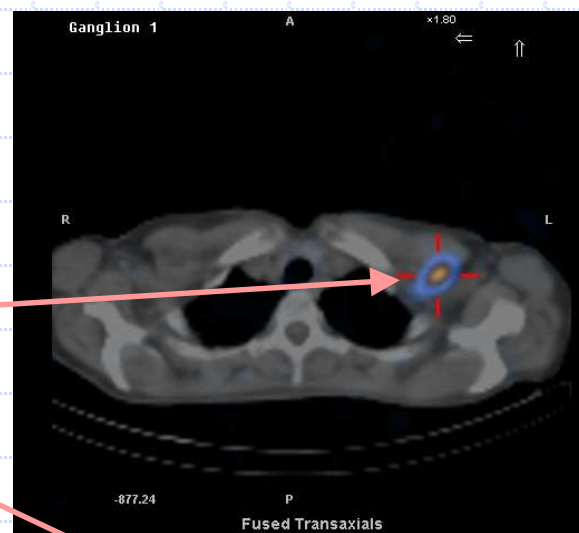




# DETECTION PEROPERATOIRE



$^{99m}\text{Tc}$ -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...

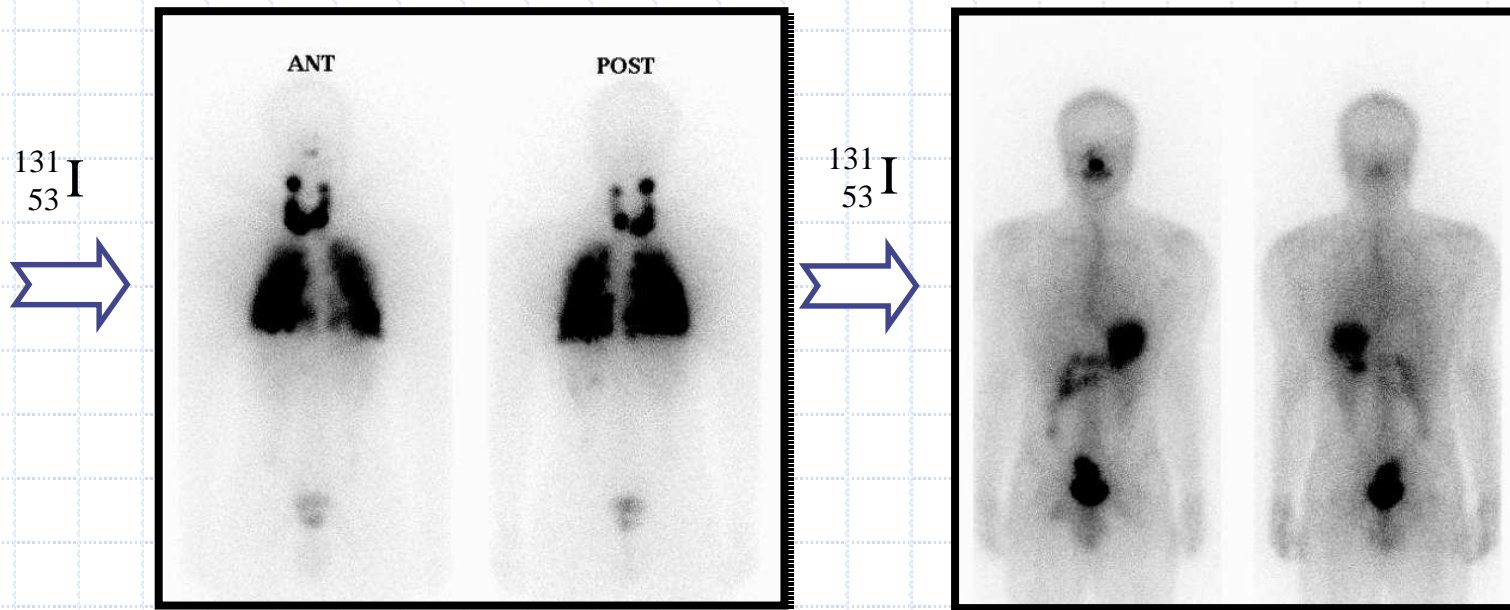


# THERAPIE METABOLIQUE

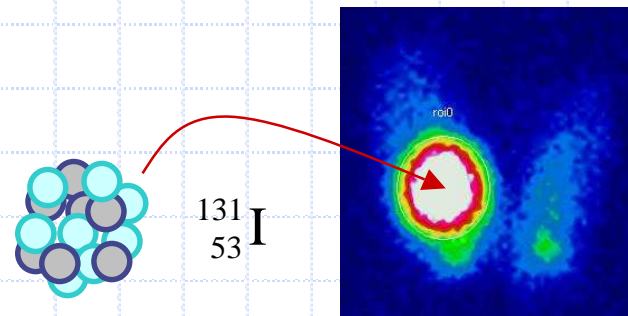
Cancers thyroïdiens, hyperthyroïdie,  
Synoviorthèses,  
Métastases osseuses,  
Lymphomes, tumeurs cérébrales...

# RADIOTHEAPIE METABOLIQUE $\beta^-$

## ❖ Néoplasies thyroïdiennes



## ❖ Hyperthyroïdies



# RADIOTHERAPIE METABOLIQUE $\beta^-$

## ❖ Synoviorthèses

- ❖ injection intra-articulaire sous scopie
- ❖ irradiation de l'hyperplasie synoviale
- ❖ indications : monoarthrites inflammatoires non aiguës
- ❖ 3 radioisotopes  $\beta^-$  : erbium, rhénium et yttrium

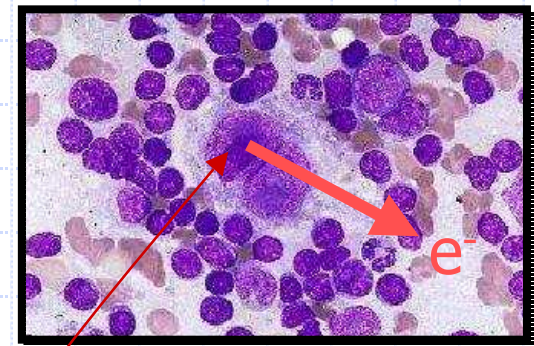
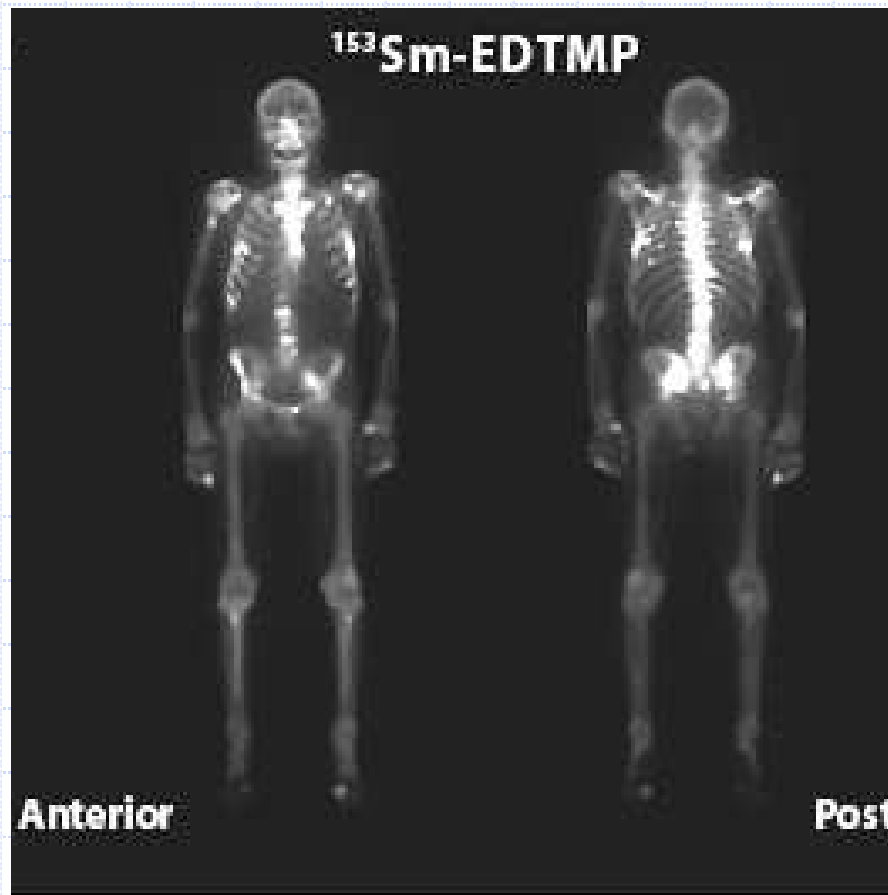
- ❖  $^{169}_{68}\text{Er}$  (parcours moyen des  $e^-$  : 0,5 mm)
  - ❖ doigts

- ❖  $^{186}_{75}\text{Re}$  (parcours moyen des  $e^-$  : 1,0 mm)
  - ❖ épaules, coudes, poignets, chevilles

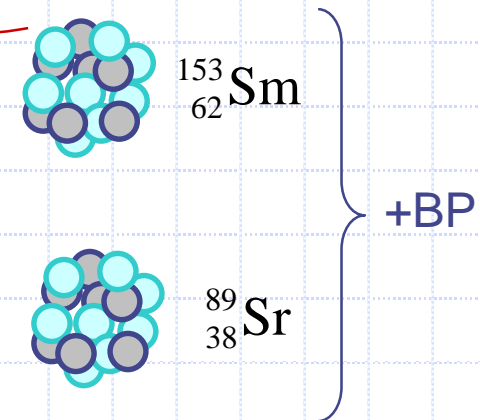
- ❖  $^{90}_{39}\text{Y}$  (parcours moyen des  $e^-$  : 3,5 mm)
  - ❖ hanches, genoux

# RADIOTHERAPIE METABOLIQUE $\beta^-$

## ❖ Antalgie de métastases osseuses

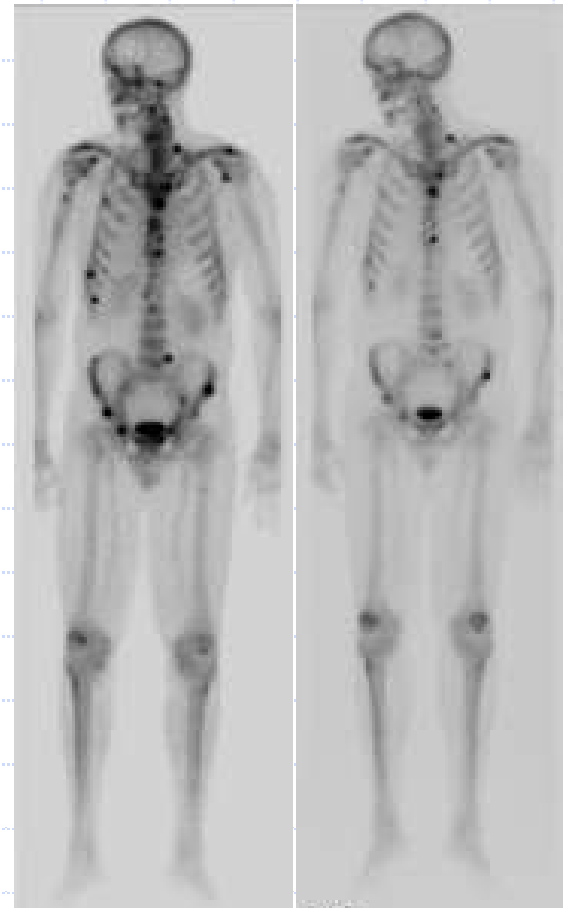


Ionisations sur quelques mm



# RADIOTHERAPIE METABOLIQUE $\alpha$

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



# DOSAGES DE LABORATOIRE

## Radio Immuno Analyse (RIA)



# DOSAGES RADIOIMMUNOLOGIQUES

◆ Liaison Récepteur-Ligand\* : spécifique

◆ Sensibilité < picomole

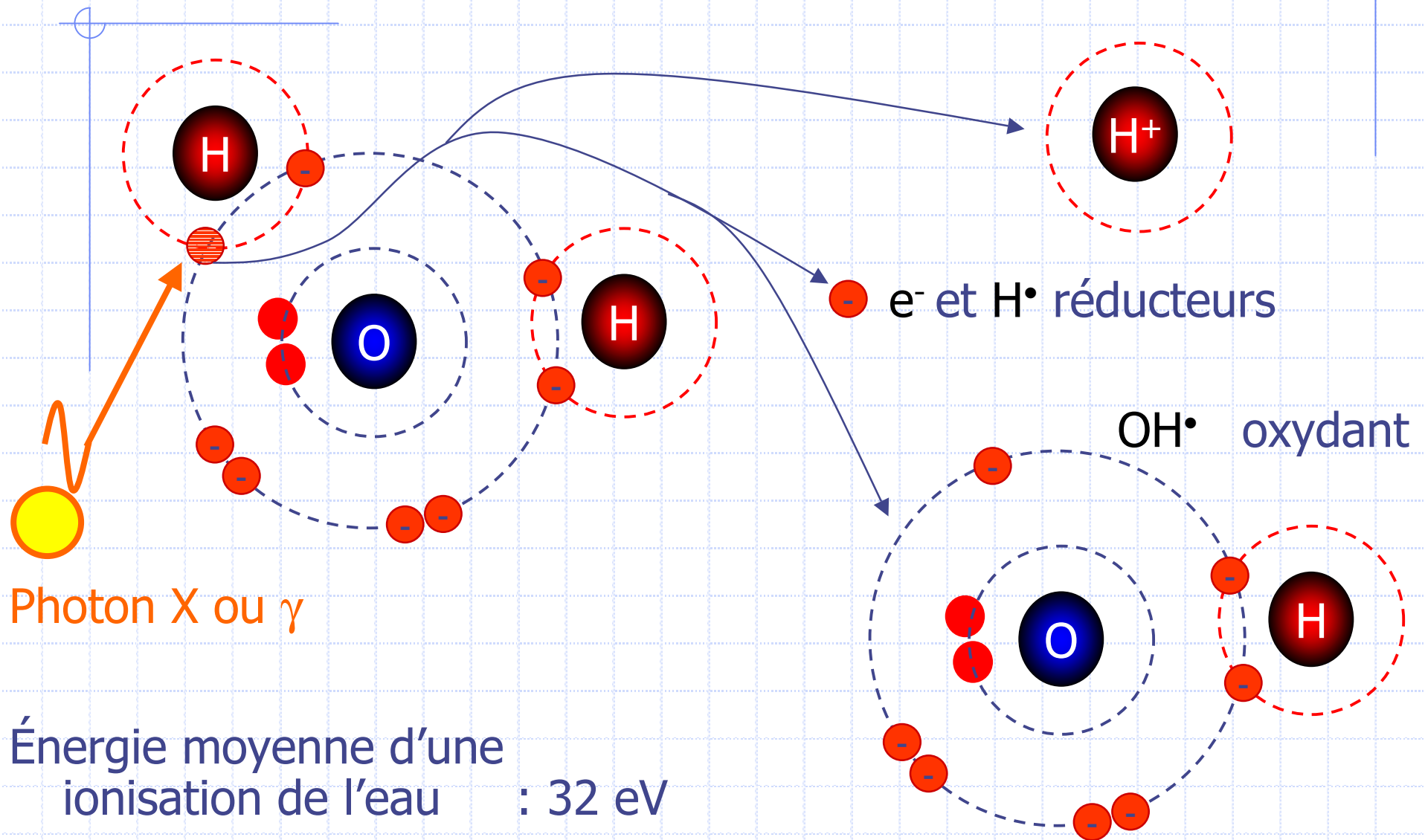
◆ 10-20 % des dosages :

- ◆ 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)
<b>Rayons X: 0,01 – 10 mSv</b>	
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
<b>TDM TAP non diagnostique</b>	<b>7</b>
<b>Scintigraphie:</b>	<b>0,3 – 20 mSv</b>
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
<b>OCTREOSCAN</b>	<b>12</b>
<b>Thallium, rubidium</b>	<b>20</b>

# 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

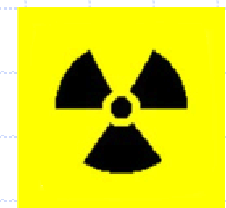
## ❖ Imagerie fonctionnelle et métabolique :

- ♦ 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

