

JOURNÉES DE RÉFLEXION CNRS/IN2P3

DES APPLICATIONS SOCIÉTALES DE LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE : ÉNERGIE ET SANTÉ

6 au 10 décembre 2010
Saint-François, GUADELOUPE

Imagerie radio-isotopiques multi-modale



Perspectives et enjeux
de l'imagerie de médecine nucléaire
A.Prigent - Université Paris Sud (XI)

Modalités d'imagerie fonctionnelle et métabolique

modalité	Résolution spatiale	Sensibilité détect. sonde (mole/L)	quantité de sonde nécessaire
TEP (PET)	1-2 mm	pM/L (10^{-11} - 10^{-12})	ng (10^{-9})
TEMP (SPECT)	1-2 mm	pM/L (10^{-10} - 10^{-11})	ng (10^{-9})
I.optique			
-biolumin.	3-5 mm	< nM (10^{-15} - 10^{-17})	μg (10^{-6})
-fluoresc.	2-3 mm	pM/L (10^{-9} - 10^{-12})	μg (10^{-6})
IRM	25-100 μm	mM à μM (10^{-3} - 10^{-5})	mg (10^{-3})

« ... useful to evaluate high affinity, low abundance systems, ... particularly sensitive to small quantities of material, such as many receptor systems and intra-cellular processes.

« ... will not cause a pharmacologic effect ».

Blankenberg FG, Strauss HW. Nuclear medicine applications in molecular imaging. J Magn Reson Imaging 2002

« Enjeux et perspectives de l'imagerie de médecine nucléaire »

- Principaux domaines d'application
- Répondre aux enjeux de Santé Publique
- Enjeux et perspectives technologiques
- Enjeux et perspectives « administratifs et réglementaires »

Principaux domaines d'application de l'imagerie fonctionnelle et moléculaire

Perfusion

Cinétique pariétale

Flux et transit

Métabolisme

Liaison aux récepteurs membranaires

Neurotransmission

Anticorps monoclonaux

Apoptose

Néoangiogénèse

Expression génétique

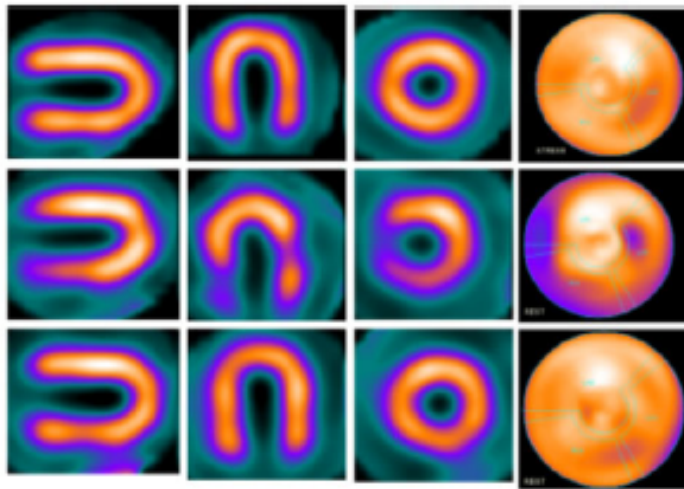
Localisation cellulaire

Principaux domaines d'application de l'imagerie fonctionnelle et moléculaire

Perfusion	}	MN, TDM, IRM, Echographie, Echo-Doppler
Cinétique pariétale		
Flux et transit		
Métabolisme		
Liaison aux récepteurs membranaires		
Neurotransmission		
Anticorps monoclonaux		
Apoptose		
Néoangiogénèse		
Expression génétique		
Localisation cellulaire	}	MN, IRM

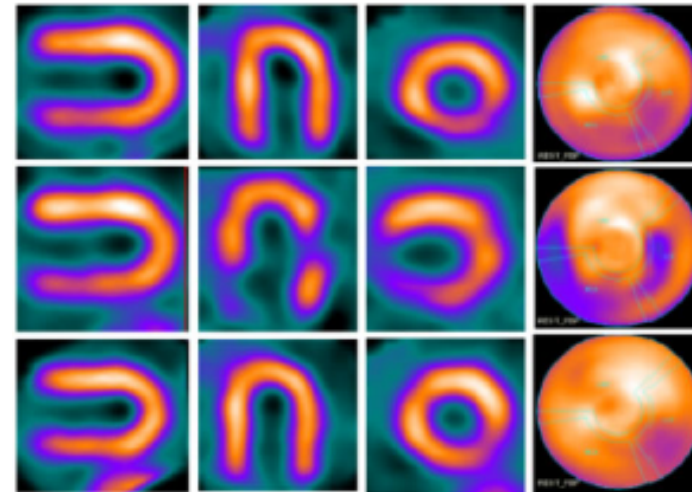
Multiple-pinhole collimator block with pixelated cadmium zinc telluride (CZT) multidetectors

Etudes sur différents « phantoms »



Acquisition: 3 min

CZT avec collimateur multi-pinhole



Acquisition : 15 min

SPECT (NaI) avec collimateur « trous parallèles »

M.Bocher et al. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2010

Principaux domaines d'application de l'imagerie fonctionnelle et moléculaire

Perfusion

Cinétique pariétale

Flux et transit

Métabolisme

Liaison aux récepteurs membranaires

Neurotransmission

Anticorps monoclonaux

Apoptose

Néoangiogénèse

Expression génétique

Localisation cellulaire



**Enjeux
Spécifiques
actuels**

Principaux domaines d'application de l'imagerie fonctionnelle et moléculaire

Perfusion

Cinétique pariétale

Flux et transit

Métabolisme

Liaison aux récepteurs membranaires

Neurotransmission

Anticorps monoclonaux

Apoptose

Néoangiogénèse

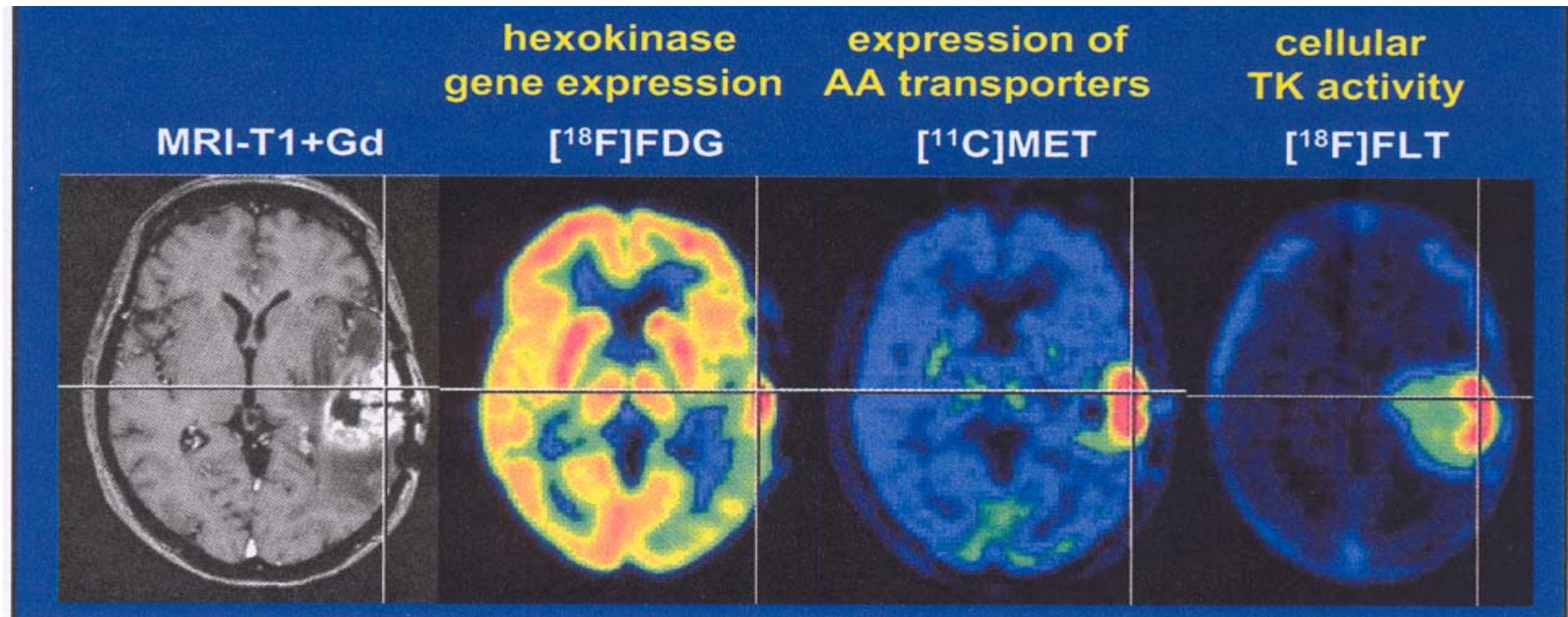
Expression génétique

Localisation cellulaire



**Enjeux
Spécifiques
actuels**

Perspective: Imagerie des « métabolismes » d'une tumeur cérébrale



^{18}F -FDG: fluoro-deoxy-glucose (mét.glucidique)

^{18}F -FLT: 3'-deoxy-3'-fluoro-thymidine (DNA)

^{11}C -MET: méthionine (mét.protéique)

Adaptation “personnalisée” des traitements anti-cancéreux ?

Principaux domaines d'application de l'imagerie fonctionnelle et moléculaire

Perfusion

Cinétique pariétale

Flux et transit

Métabolisme

Liaison aux récepteurs membranaires

Neurotransmission

Anticorps monoclonaux

Apoptose

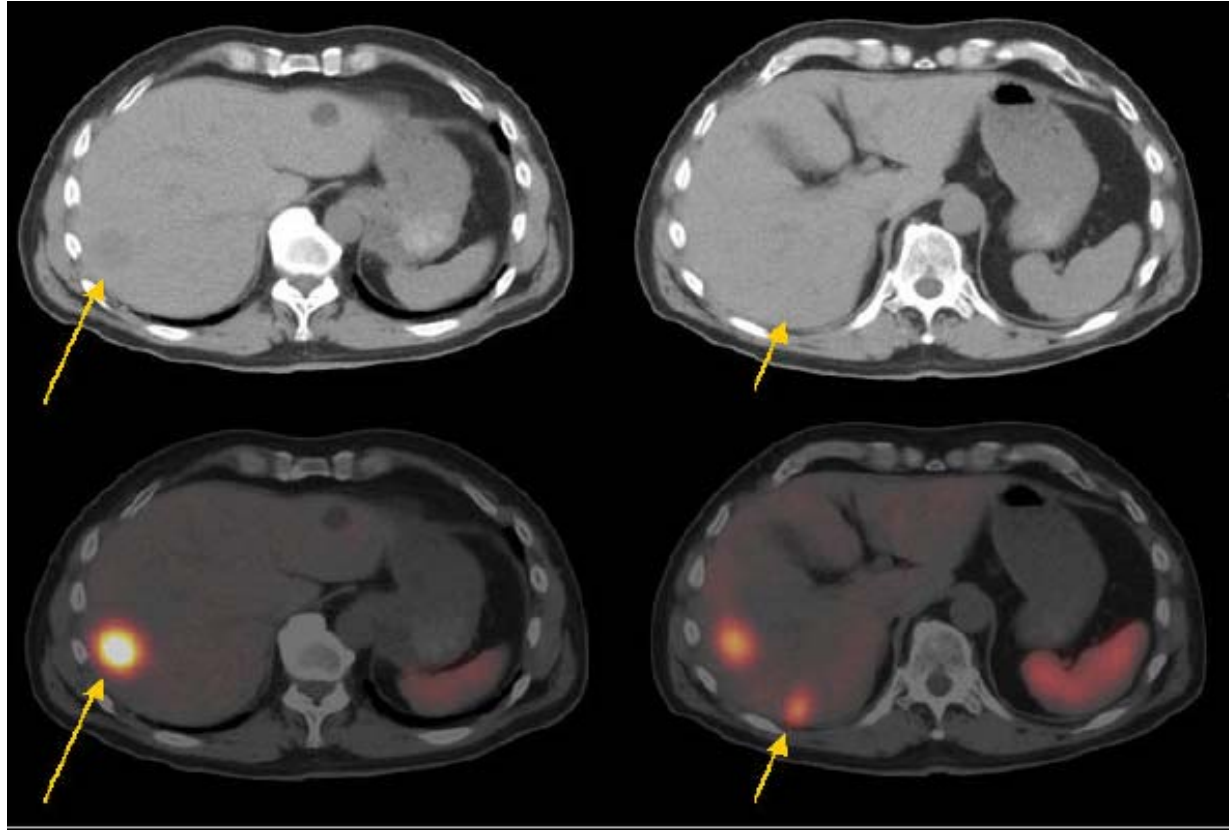
Néoangiogénèse

Expression génétique

Localisation cellulaire

} **Enjeux
Spécifiques
actuels**

Enjeu: diagnostic « fonctionnel » plus sensible
Imagerie des récepteurs membranaires



TEMP-TDM (SPECT-CT) 48h post-inj de 200 MBq Octreoscan®

Carcinoïde: volumineuse métastase hépatique détectée en TDM et
petite métastase seulement repérée avec le RP (Ann Arbor, Dr M Piert)

Principaux domaines d'application de l'imagerie fonctionnelle et moléculaire

Perfusion

Cinétique pariétale

Flux et transit

Métabolisme

Liaison aux récepteurs membranaires

Neurotransmission

Anticorps monoclonaux

Apoptose

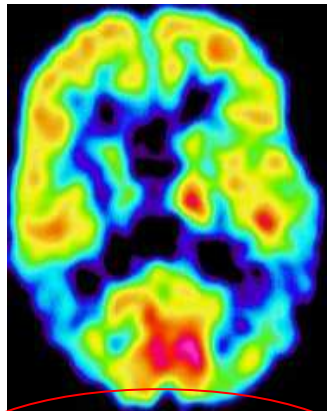
Néoangiogénèse

Expression génétique

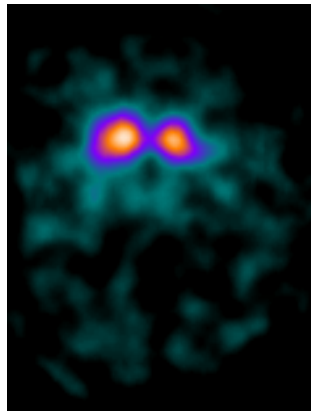
Localisation cellulaire

} **Enjeux
Spécifiques
actuels**

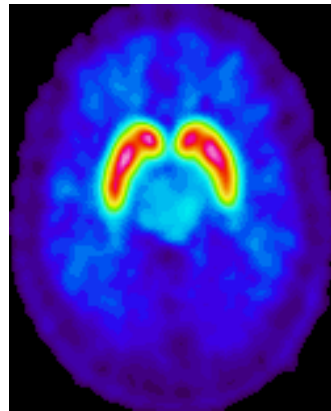
Traceurs et radiopharmaceutiques TEP/TEMP (PET/SPECT) pour la maladie d'Alzheimer (AD)



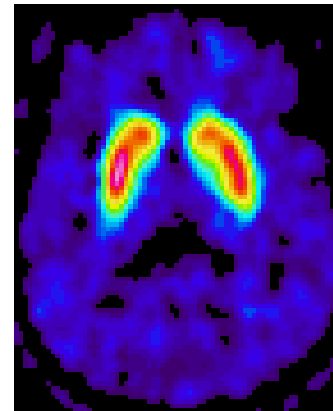
Glucose metabolism
¹⁸F Fluorodeoxyglucose



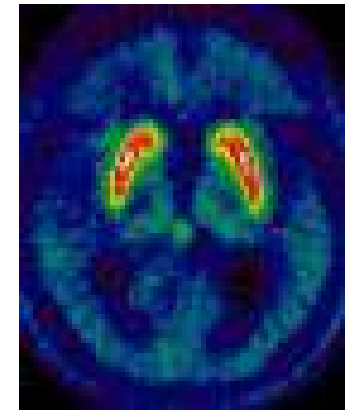
Dopamine transporter
¹²³I FPCIT



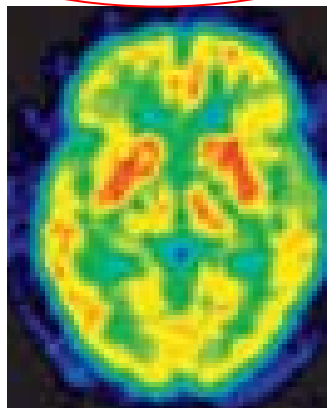
Dopamine transporter
¹¹C βCIT



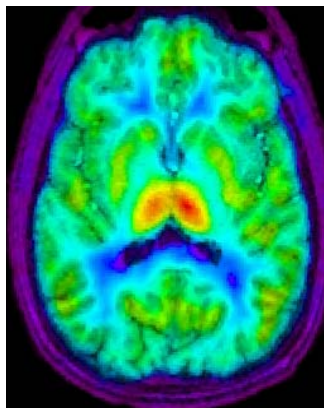
D2 Receptors
¹¹C Raclopride



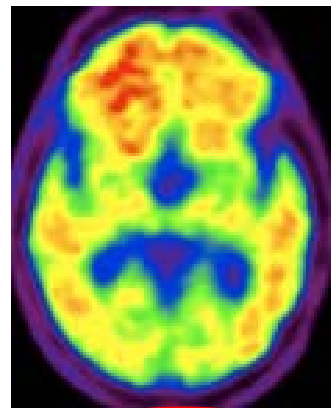
Dopamine synthesis
¹⁸F Dopa



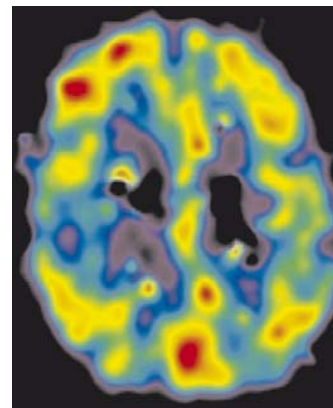
Drug occupancy
¹¹C Donepezil



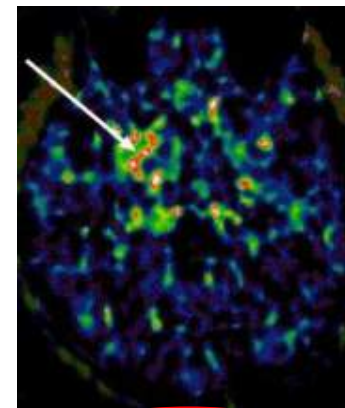
Nicotinic α4β2 Receptors
¹⁸F F-A-85380



Amyloid load
¹⁸F florbetaben



Ach esterase activity
¹¹C PMP



Microglia activation
¹¹C PK11195

F.Semah, Lille, 2010

Principaux domaines d'application de l'imagerie fonctionnelle et moléculaire

Perfusion

Cinétique pariétale

Flux et transit

Métabolisme

Liaison aux récepteurs membranaires

Neurotransmission

Anticorps monoclonaux } Enjeux actuels en thérapie
Perspectives en imagerie

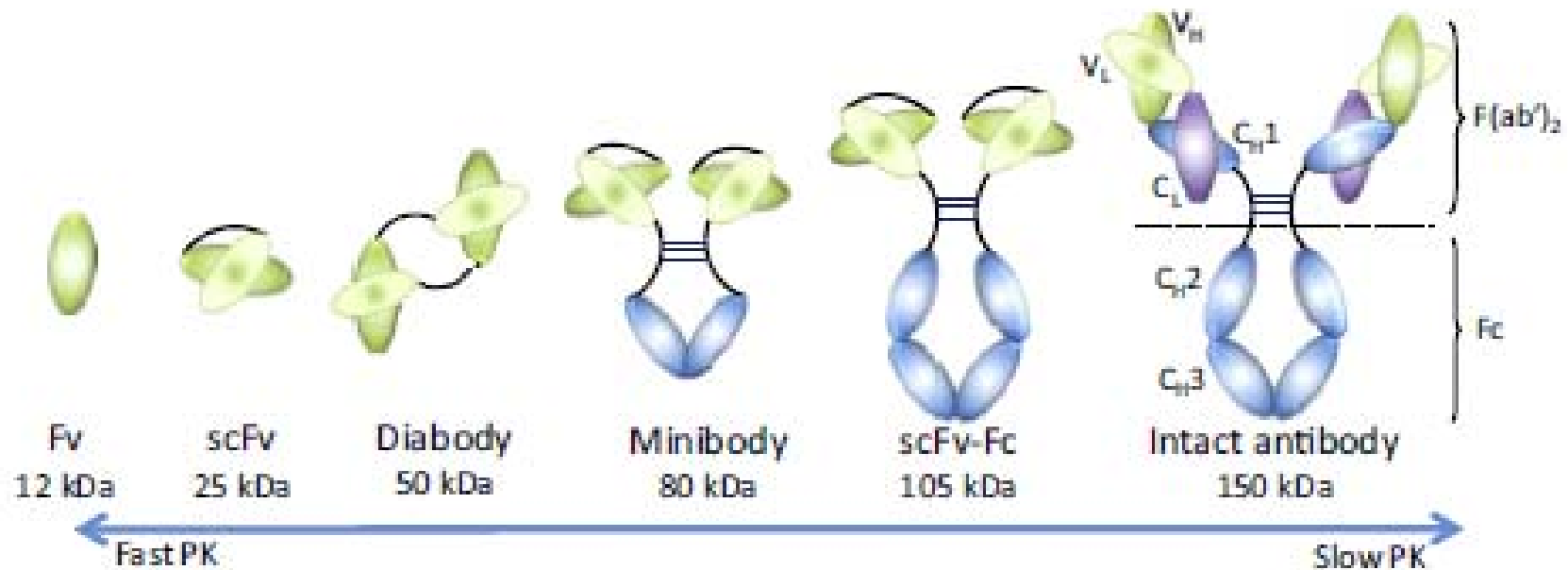
Apoptose

Néoangiogénèse

Expression génétique

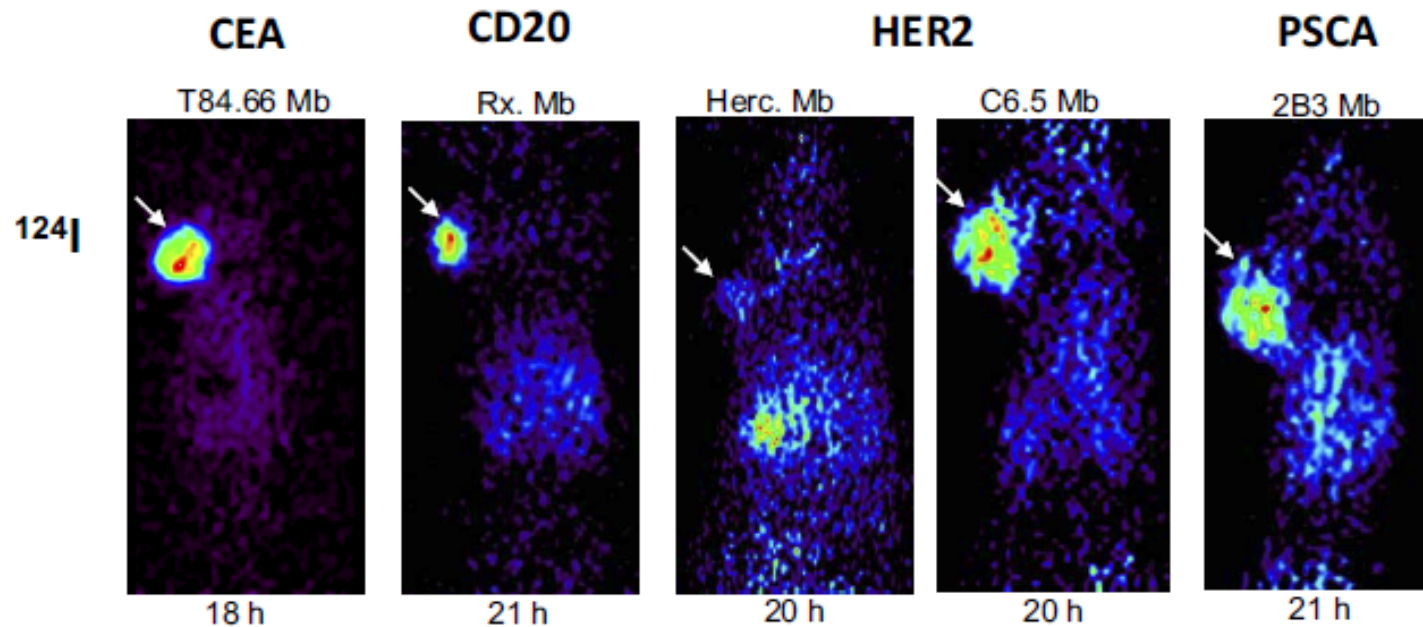
Localisation cellulaire

Intact antibody and its engineered antibody fragments



T. Olafsen & A. M. Wu, Sem Nucl Med, 2010

Perspective: TEP et détection de antigènes de surface tumoraux



Anti-CEA **minibody** (T84.66 Mb)

Anti CD 20 **minibody** (RX Mb)

Anti-HER **minibody** (THERc Mb)

Anti PSCA **minibody** (2B3 Mb)

Prévision de réponse
thérapeutique aux
anti -cancéreux

T.Olafsen & A. M.Wu, Sem Nucl Med, 2010

Principaux domaines d'application de l'imagerie fonctionnelle et moléculaire

Perfusion

Cinétique pariétale

Flux et transit

Métabolisme

Liaison aux récepteurs membranaires

Neurotransmission

Anticorps monoclonaux

Apoptose

Néoangiogénèse

Expression génétique

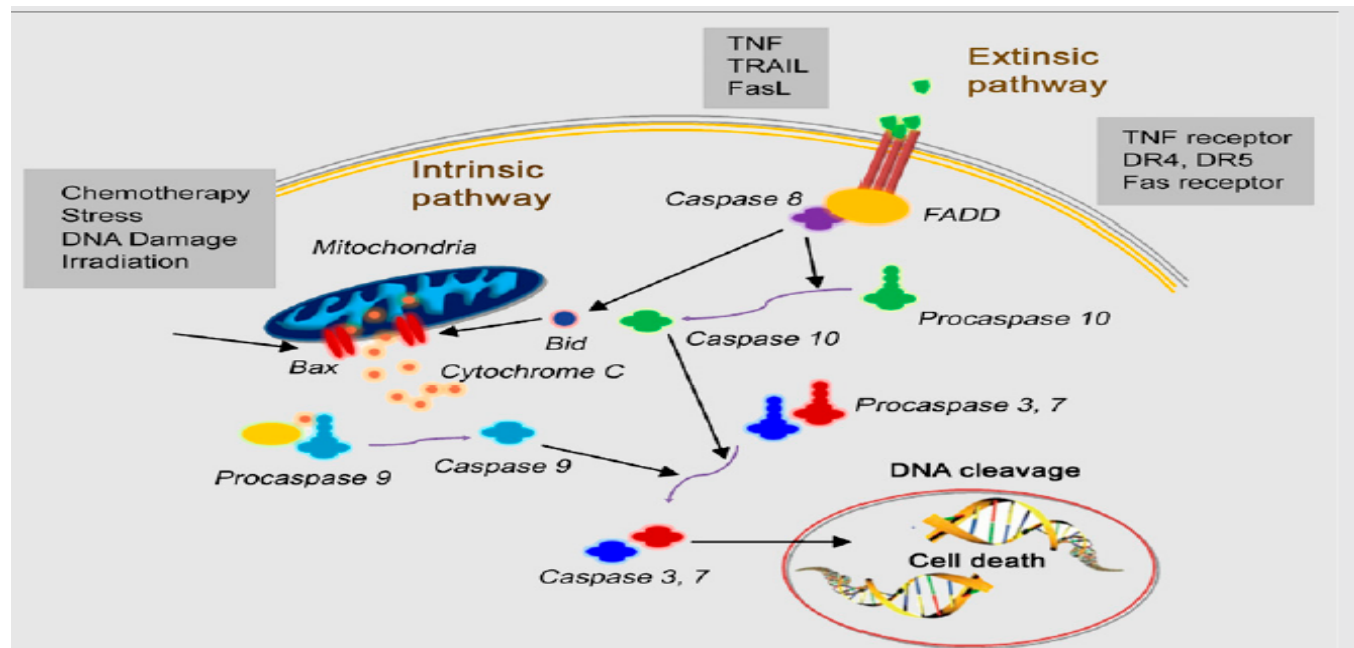
Localisation cellulaire

} **Perspectives
spécifiques**

Apoptose

Son induction est la première étape de la mort de la cellule tumorale induite par les chimiothérapies.

L'imagerie de l'apoptose ("biomarqueur direct" de mort cellulaire) vise à montrer l'effet précoce (ou son absence) et à adapter au plus vite la radiothérapie et la chimiothérapie.

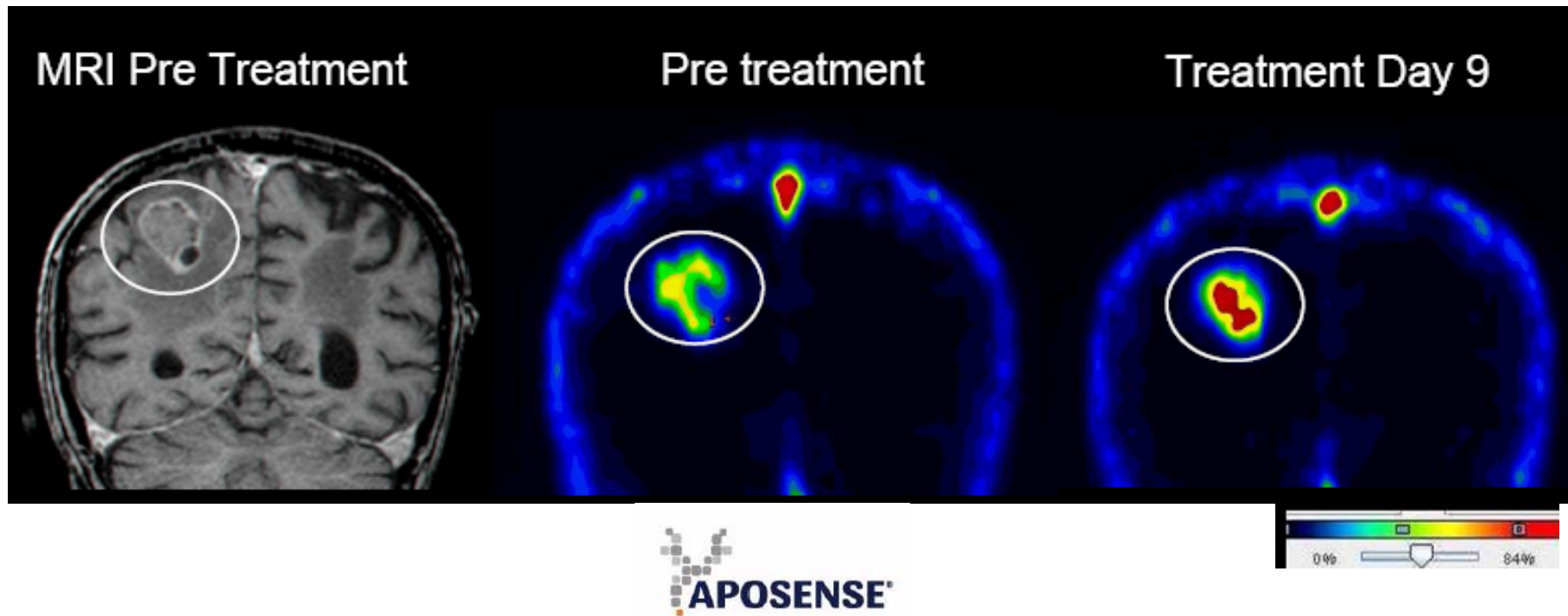


Caspases:
cystéine
aspartate
protéases

"Apoptosis imaging: beyond annexin V"
G.Niu & X.Chen. *J Nucl Med*, 2010.

Perspectives: Apoptose et monitoring précoce des effets thérapeutiques

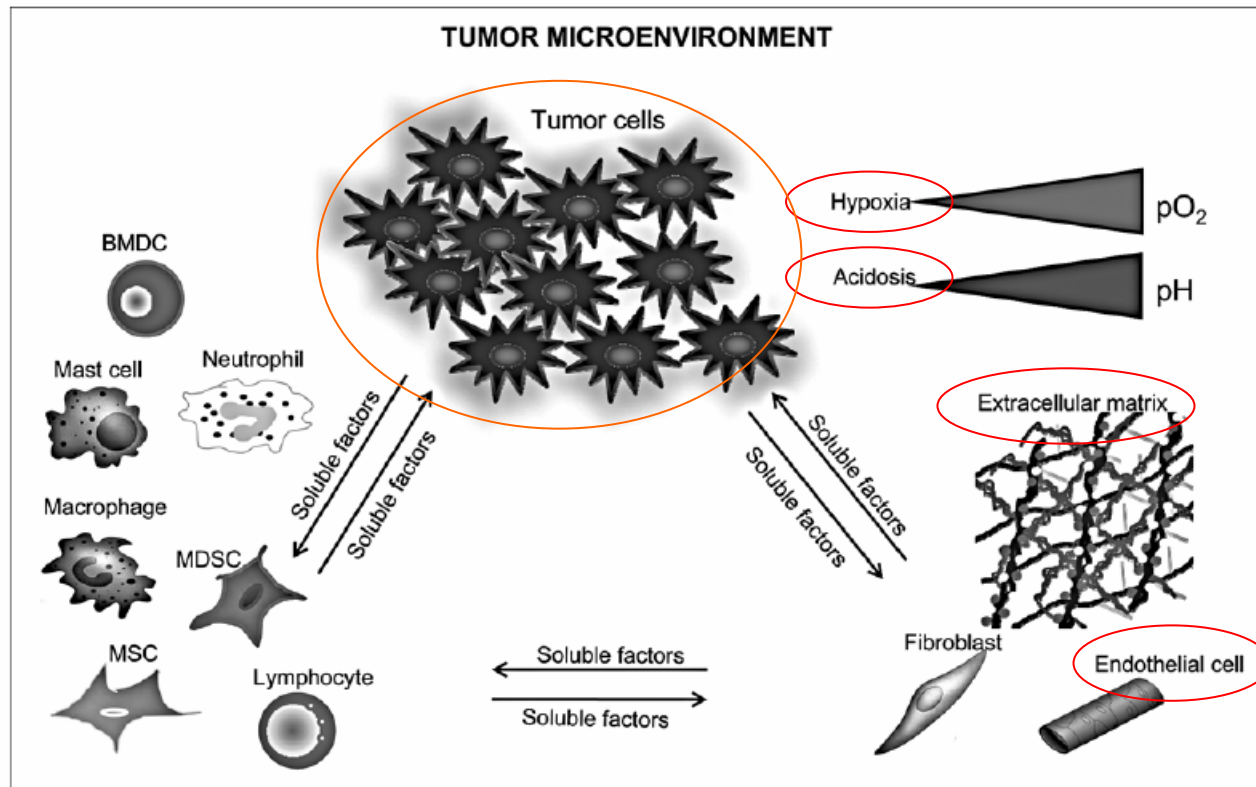
Effet **précoce** de radiothérapie de métastase cérébrale d'un cancer pulmonaire



^{18}F ML10 (ApoSense)

Les cibles potentielles dans l'étude du "cancer" (hors cellule cancéreuse elle-même)

Le microenvironnement tumoral est une architecture complexe et dynamique

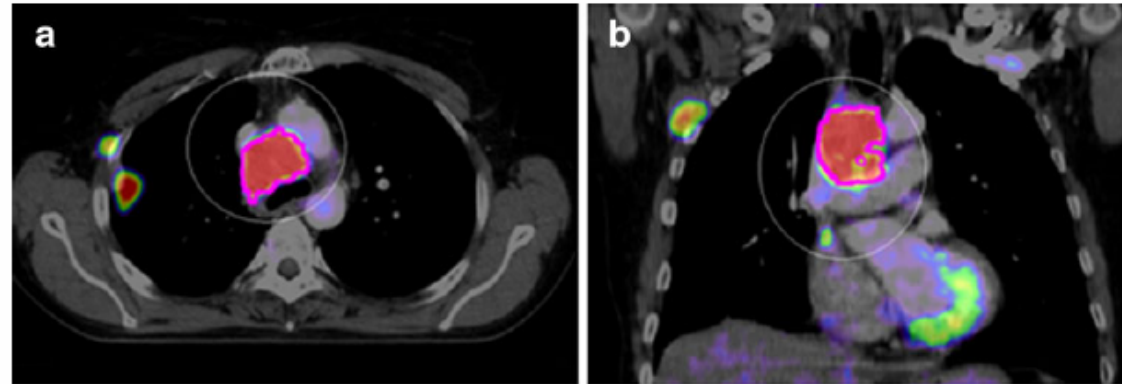


BMCD: cellules originaires de la moelle osseuse
MDSC: cellules "suppressives" d'origine myéloïde
MSC: cellules souches mésenchymateuses

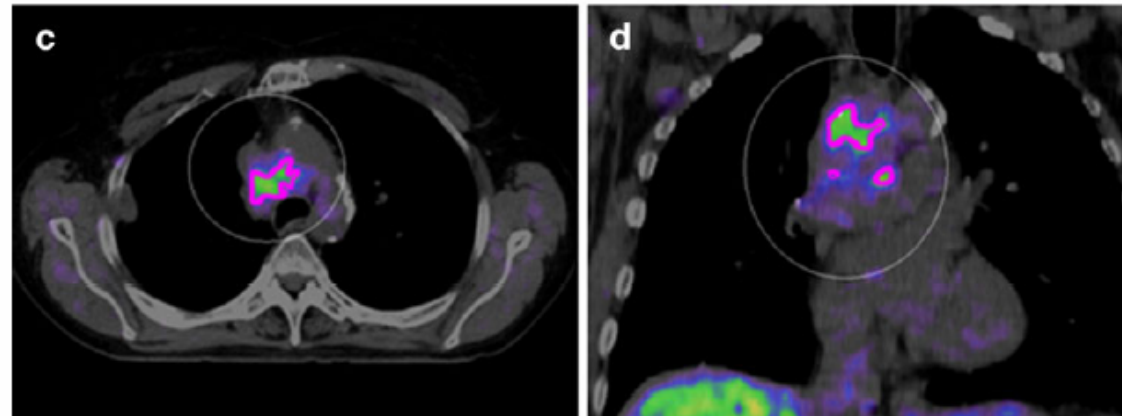
S Del Vecchio et al. J Nucl Med Mol Imaging, 2010

PET imaging of hypoxia using ^{18}F -HX4 (essai de phase 1- Siemens)

^{18}F -FDF PET



^{18}F -HX4 PET



Perspective: Indication de traitements anti-hypoxiques tels que les composés bio-réducteurs et les radio-sensibilisateurs dans la radiothérapie et la chimiothérapie.

J. Van Loon et al. Euro J Nucl Med Mol Imaging,

Principaux domaines d'application de l'imagerie fonctionnelle et moléculaire

Perfusion

Cinétique pariétale

Flux et transit

Métabolisme

Liaison aux récepteurs membranaires

Neurotransmission

Anticorps monoclonaux

Apoptose

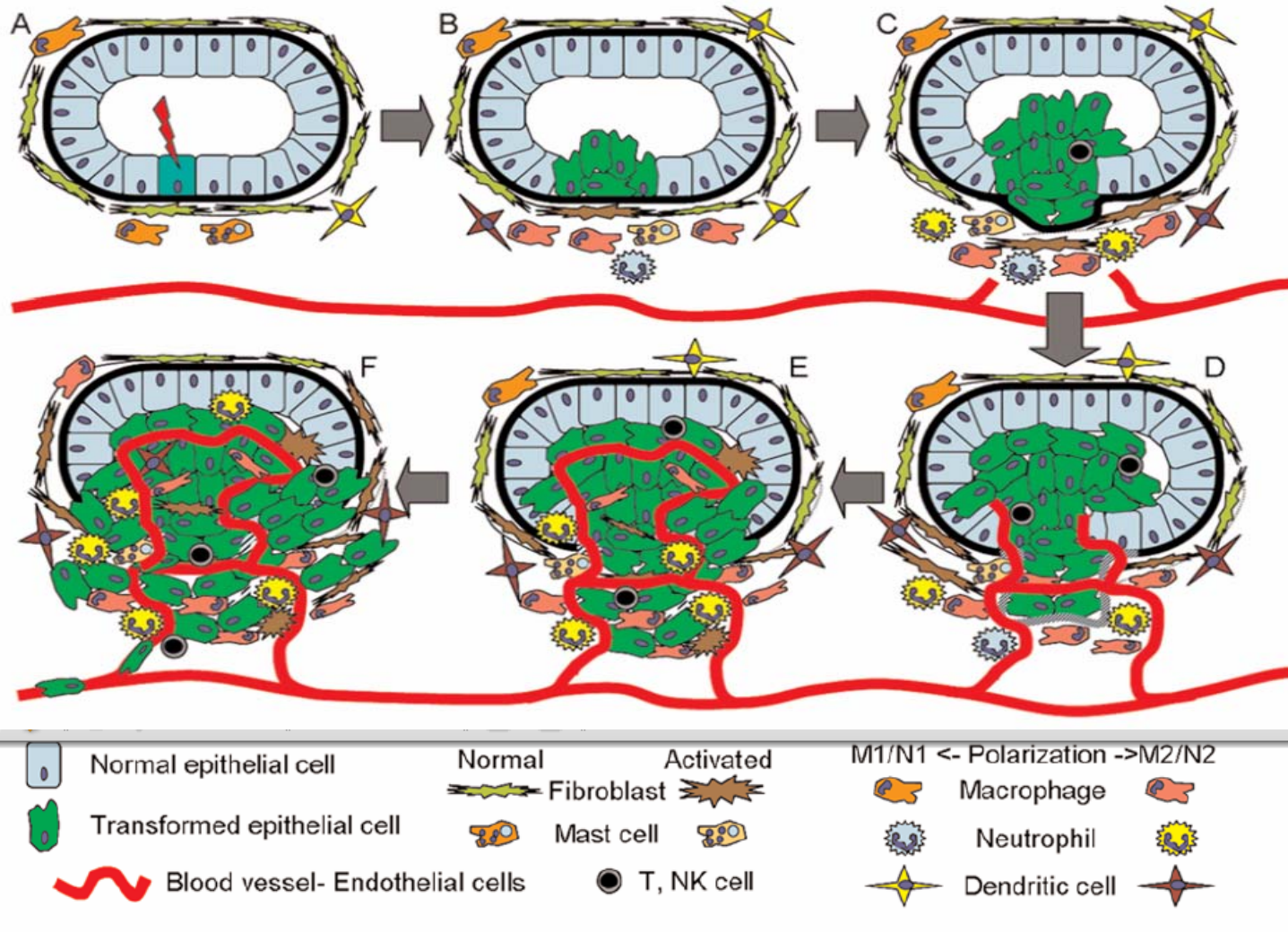
Néoangiogénèse

Expression génétique

Localisation cellulaire

} **Perspectives
spécifiques**

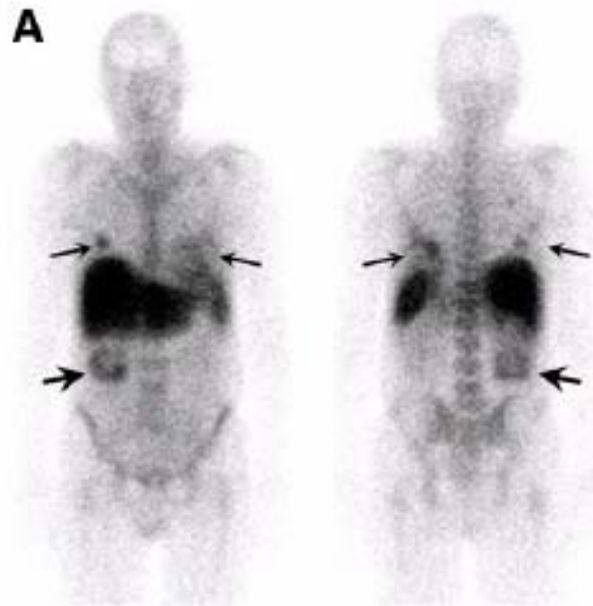
Imagerie de la néo-angiogénèse tumorale



The tumor microenvironment: biology of a complex cellular and tissue society.- A Albini et al . Q J Med Nucl Mol Imaging, 2010

Evaluation de la réponse au traitement néo-adjuvant par anti-angiogéniques (Sorafenib ®) dans le cancer du rein

¹¹¹In-Bevacizumab, anticorps anti-recepteur du facteur de croissance de l'endothélium vasculaire (VEGFR-A).



Vues ant. et post.

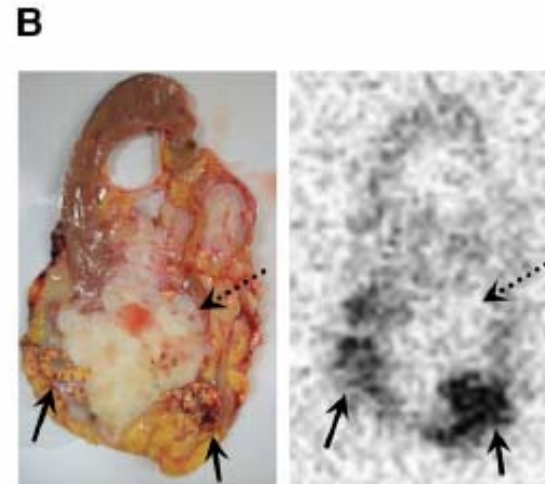


Photo et scintigramme de la pièce opératoire

I.M.E.Desar et al. J Nucl Med, 2010

Principaux domaines d'application de l'imagerie fonctionnelle et moléculaire

Perfusion

Cinétique pariétale

Flux et transit

Métabolisme

Liaison aux récepteurs membranaires

Neurotransmission

Anticorps monoclonaux

Apoptose

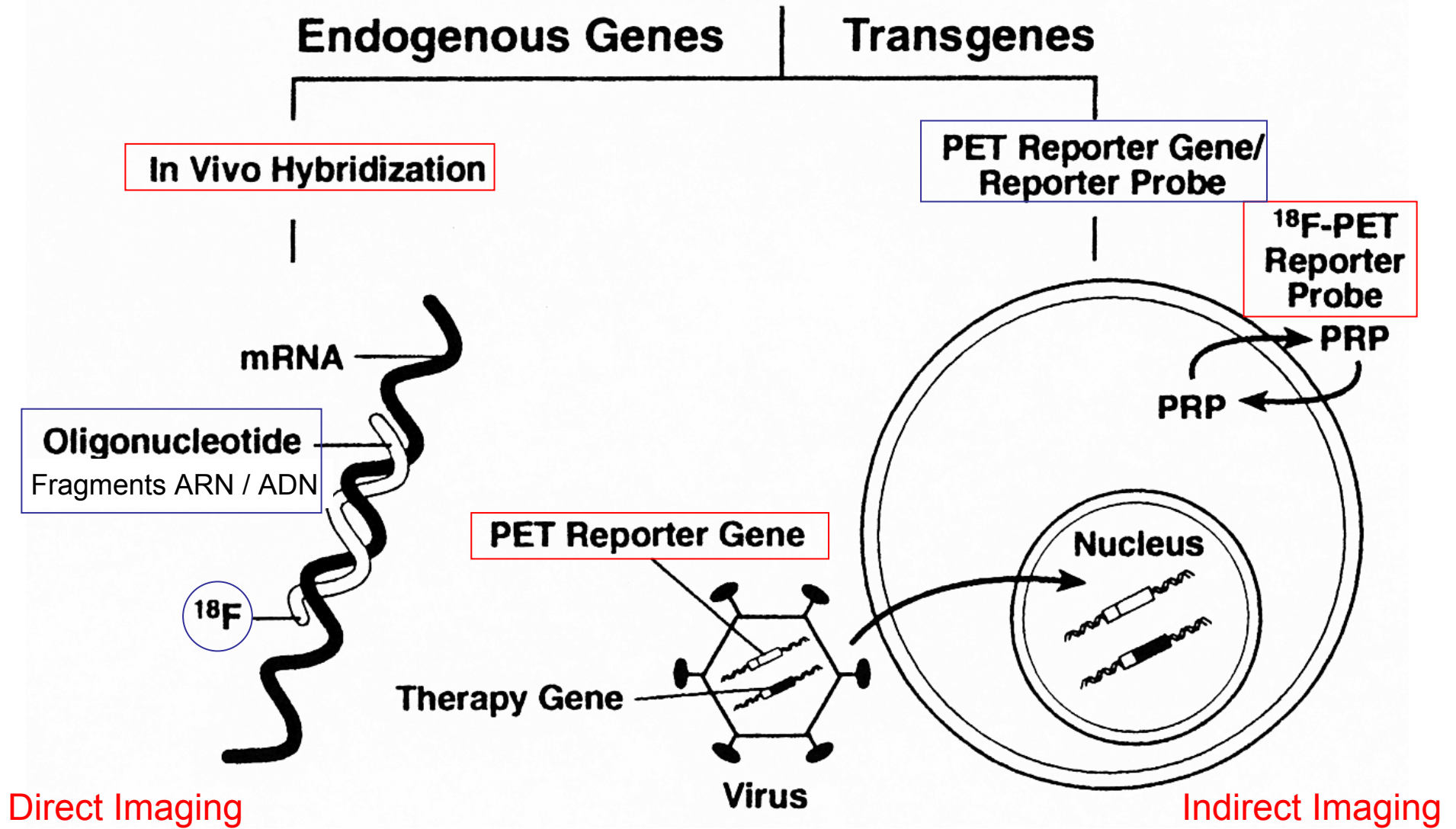
Néoangiogénèse

Expression génétique

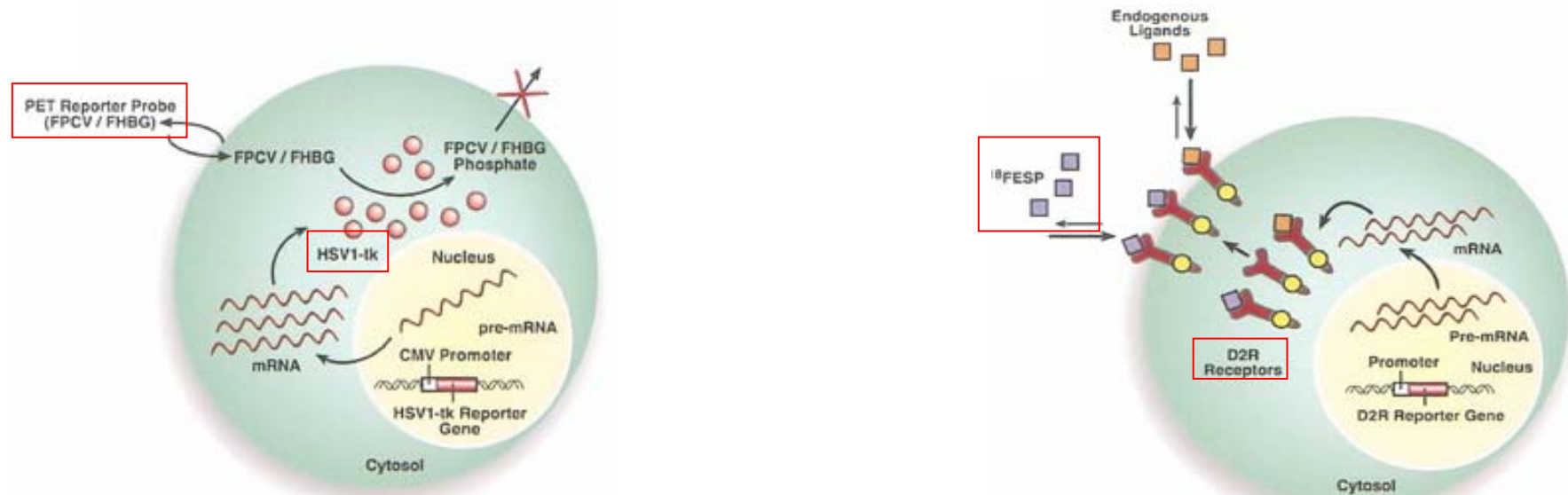
Localisation cellulaire

} **Perspectives
spécifiques**

Stratégies en imagerie moléculaire



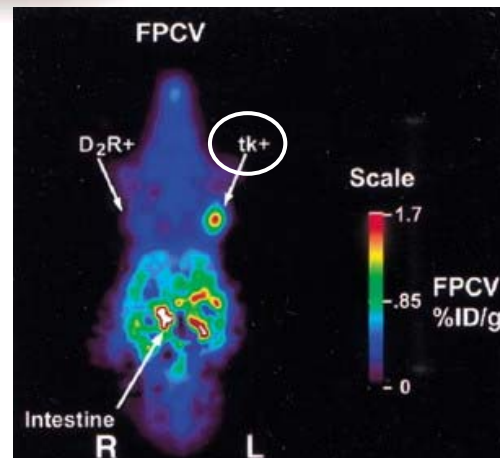
Méthode du “Gène rapporteur et de sa sonde”(reporter gene/reporter probe)



ENZYME

-gène de la HSV1-tk

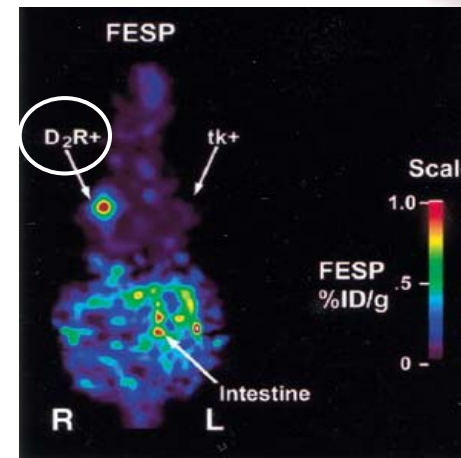
-sonde (acyclo-guanosines)
 ^{18}F -fluoropenciclovir (FPCV)



RECEPTEUR MB.

-gène du récepteur type 2 de la dopamine

-sonde: ^{18}F -fluoro-éthyl-spipéronne (FESP)



adapté de TF Massoud et SS Gambhir, Genes & development, 2003

Enjeux et perspectives de l'imagerie en médecine nucléaire

- Principaux domaines d'application
- Répondre aux enjeux de Santé Publique
- Enjeux et perspectives technologiques
- Enjeux et perspectives « administratifs et réglementaires »

Répondre aux problèmes de Santé Publique **Cardiologie:**

- Dépistage de la maladie coronaire

Repérage (patients à risque) → “Nouvelles caméras “ultrarapides” CdTe

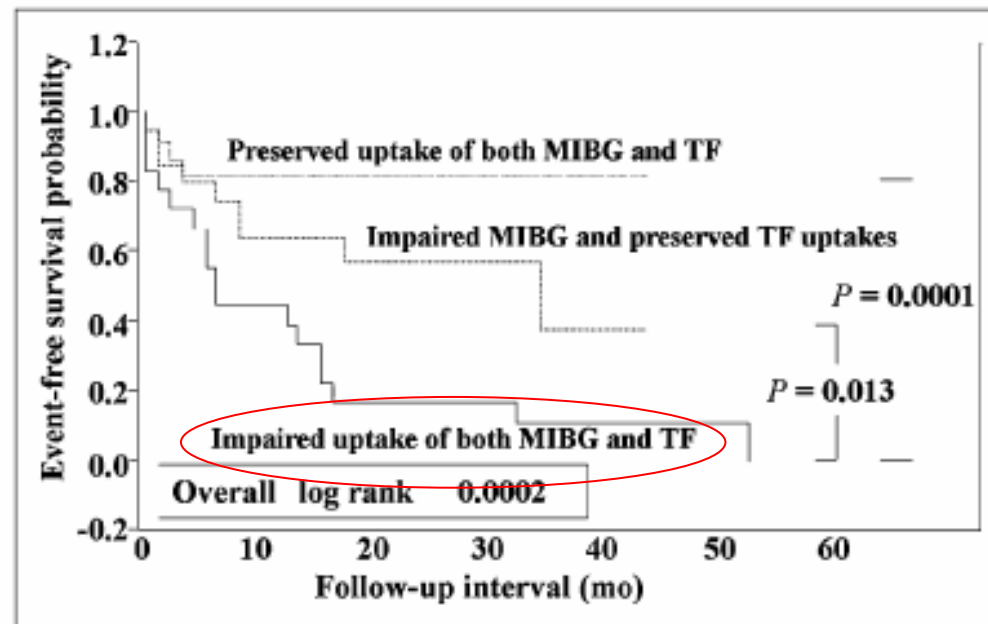
Dépistage de la resténose → G-SPECT de perfusion

Pronostic (quantif. sévérité et étendue de la zone ischémique) → G-SPECT de perfusion

Pronostic d'arythmie mortelle (défibrillateurs implantables) → ^{123}I -mIBG

- Dépistage de la “plaque fragile” → ^{18}F -FDG PET-CT

L'arythmie mortelle chez le coronarien est associée à une baisse d'innervation sympathique et de perfusion myocardiaques



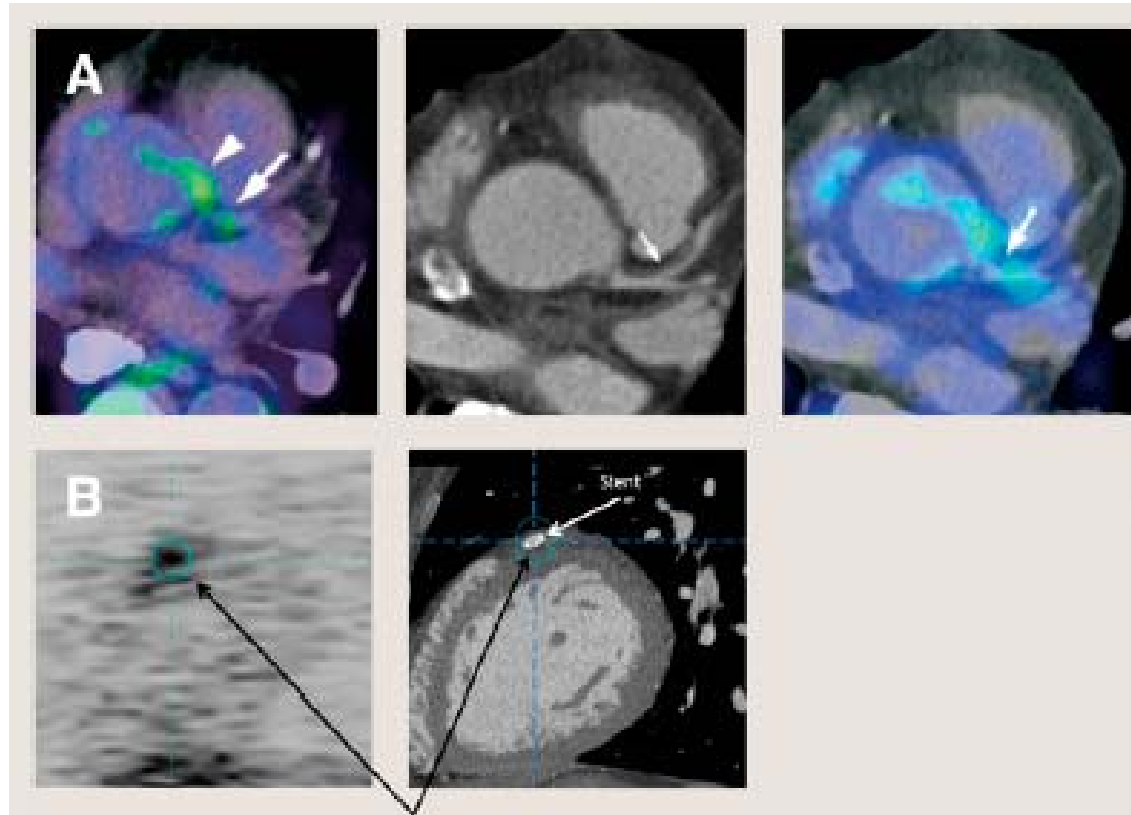
PRONOSTIC

FIGURE 3. Kaplan-Meier event-free curves of 3 groups based on metaiodobenzylguanidine and tetrofosmin uptake show that patients with impaired uptake of both metaiodobenzylguanidine and tetrofosmin had significantly lower event-free rate than did patients in the other 2 groups. MIBG = metaiodobenzylguanidine; TF = tetrofosmin.

K.Nishisato et al. J Nucl Med, 2010; 51: 1241-49

“Plaque fragile” – Inflammation de la plaque athéromateuse

18F-FDG PET-CT



“Plaque fragile” associée à un infarctus récent

N.Nobuhiro et al. J Nucl Med, 2009

Répondre aux problèmes de Santé Publique: Neurologie:

Maladies neuro-dégénératives (Plan "Alzheimer)

Dépistage précoce "pré-déméntiel" pour sélection des patients à traiter (MCI)

→ Marqueurs ^{18}F de la charge amyloïde et dégénérescence micro-fibrillaire

→ SPECT de perfusion cérébrale et ^{18}F -FDG TEP

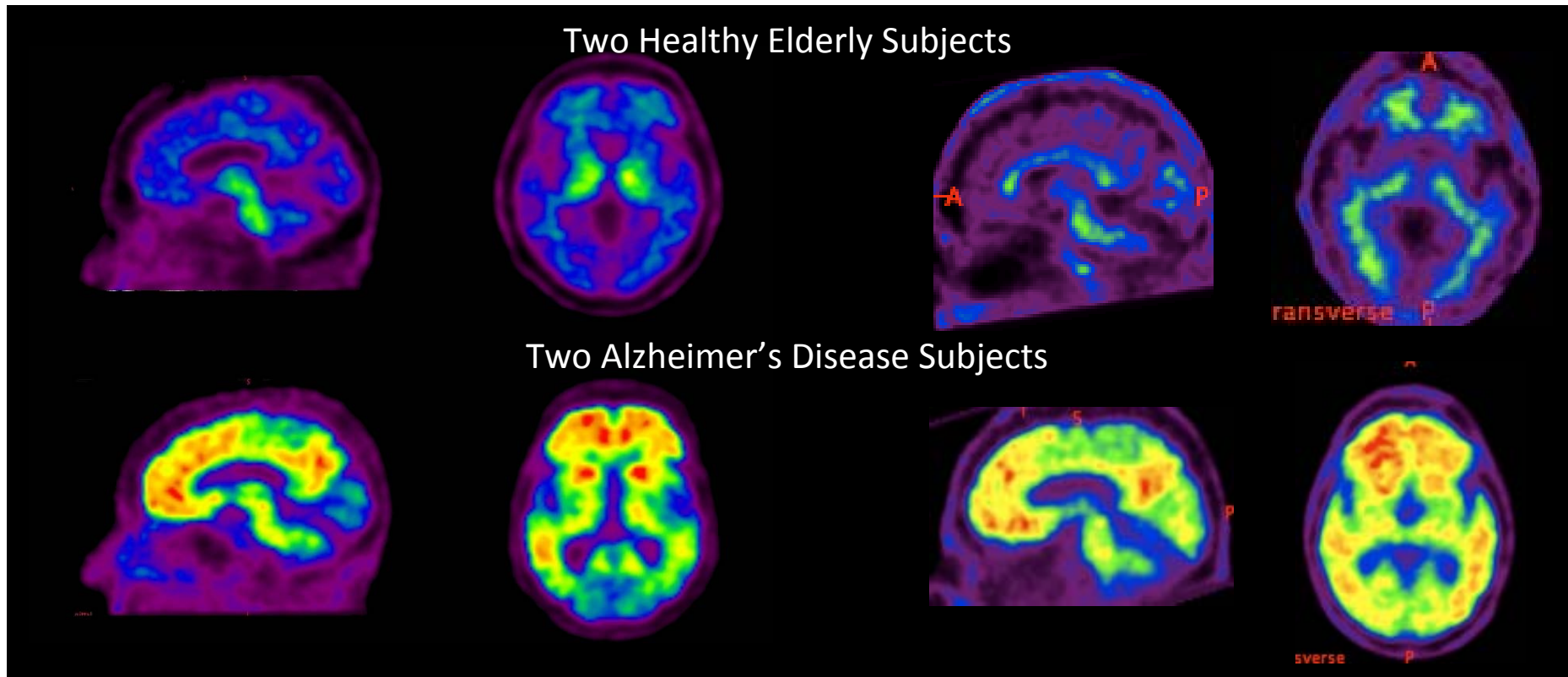
Suivi quantitatif de la progression (biomarker) → ^{18}F -FDG

Diagnostic différentiel des démences → ^{18}F -FDG et SPECT de perfusion

[¹¹C] PIB-PET et [¹⁸F] florbetaben-PET (deux exemples de biomarqueurs de charge amyloïde)

[¹¹C]PIB

[¹⁸F]florbetaben

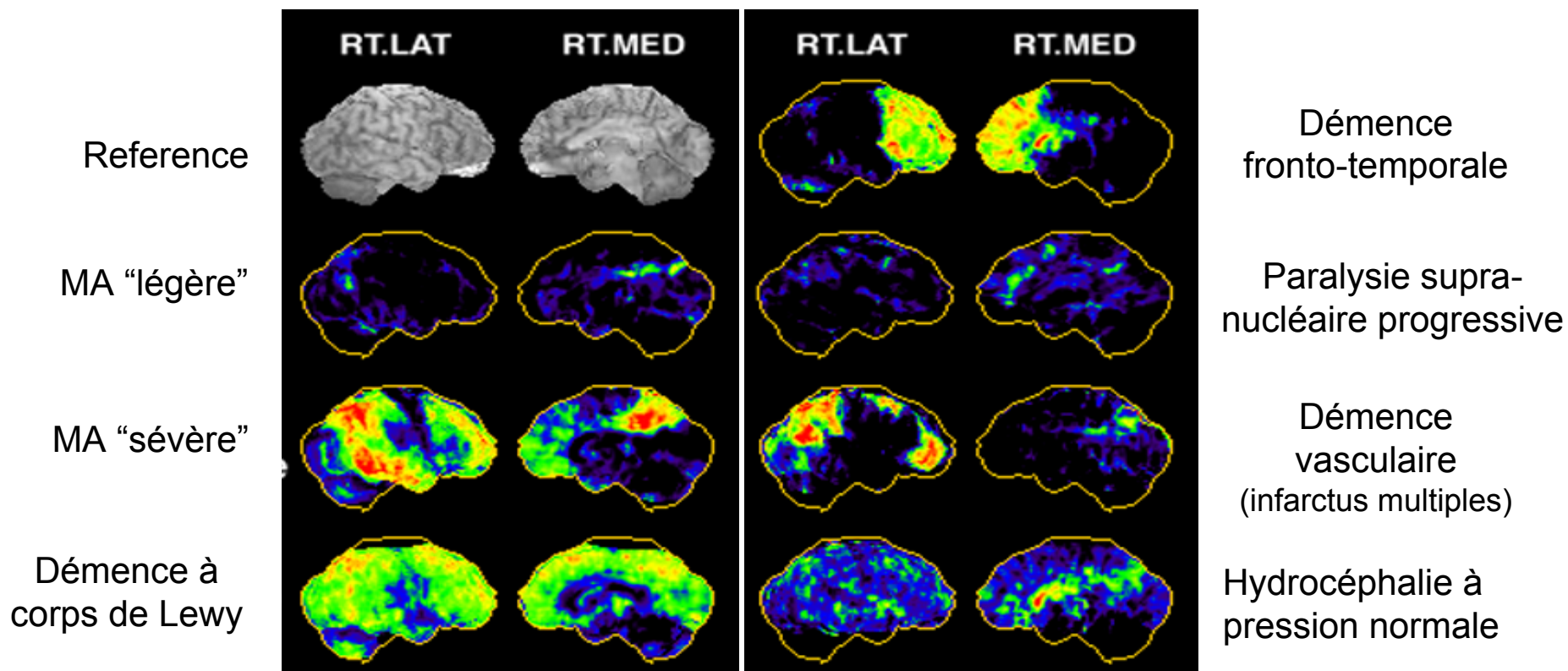


C Rowe et al. Melbourne, Australia



Enjeu: Diagnostic différentiel de démences Etudes du métabolisme glucidique cérébral

Exemples de cartes de Z-score pour ^{18}F -FDG -TEP



(Minoshima, 1994, GE)

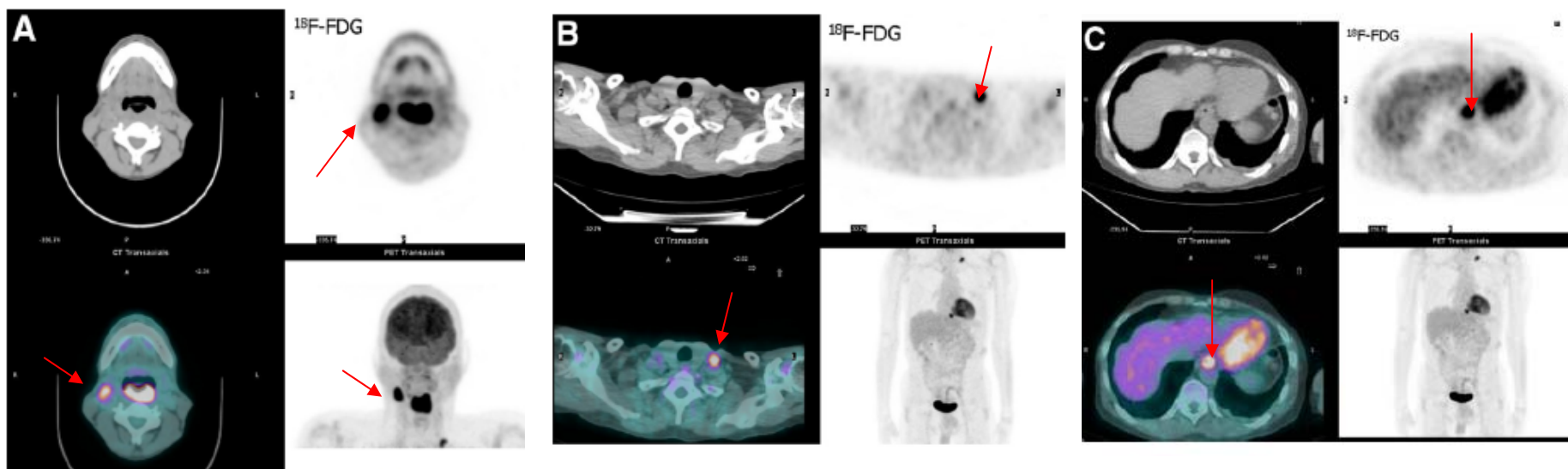
Répondre aux problèmes de Santé Publique: **Cancérologie**

^{18}F -FDG et beaucoup d'autres RP "métaboliques" ou de "molécules de surface"

- **Staging** (après le diagnostic radiologique: échographie, scanner ou IRM)
 - Bilan d'extension préthérapeutique
 - en particulier pour les lymphomes, le K mammaires, colo-rectaux, ORL et mélanome
 - Traitement "personnalisé" et optimal au cas spécifique
- **Suivi thérapeutique**
 - Evaluation précoce de la réponse (ou de son absence) au traitement
 - Consensus international pour les lymphomes
 - Adaptation du traitement lors de la découverte de métastases
 - En particulier pour les cancers mammaires et broncho-pulmonaires
 - Diagnostic différentiel entre tissu cicatriciel ou résidu tumoral
 - En particulier pour terminer un traitement de lymphome, de cancer ORL ou de l'ovaire
 - Pronostic
 - En particulier pour les cancers mammaires et broncho-pulmonaires

Améliorer le “staging initial”

“Staging” pré-thérapeutique d'un carcinome initial de l'hypopharynx (^{18}F FDF)



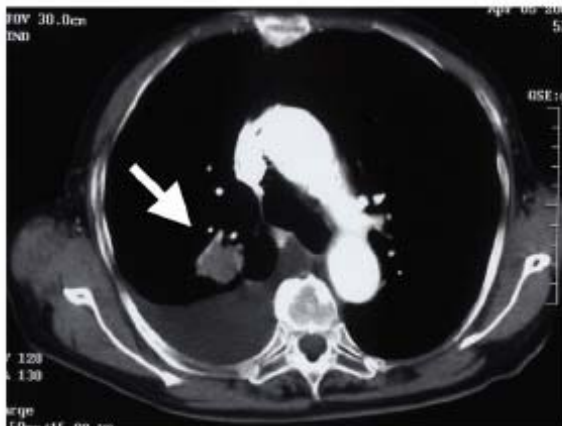
Hyperfixation de la masse connue de l'hypopharynx et découverte d'une métastase ganglionnaire cervicale

Découverte d'une métastase ganglionnaire sus-claviculaire gauche

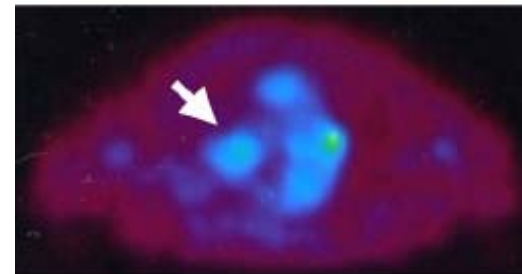
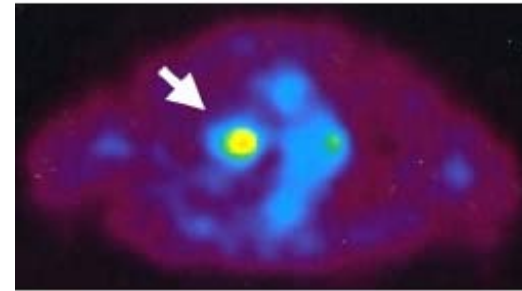
Découverte d'une hyperfixation à la jonction oeso-gastrique suspecte de second carcinome (confirmé histologiquement par biopsie)

D.Delbeke et al. Sem Nucl Med, 2009

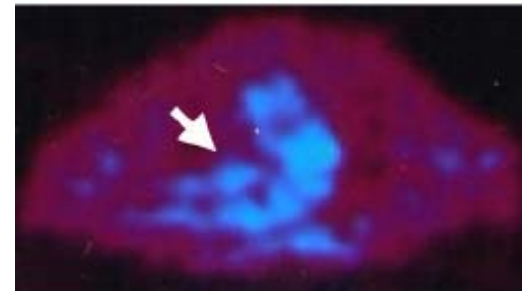
Prédiction précoce de la réponse au gefitinib dans le “cancer du poumon non à petites cellules”



4^{ème} semaine



2^{ème} jour



4^{ème} semaine

¹⁸F-FDG TEP

N.Sunaga et al. Lung Cancer, 2008

Adaptation du traitement lors de la découverte de métastases

^{131}I mIBG image à 24h chez un enfant atteint de neuroblastome.

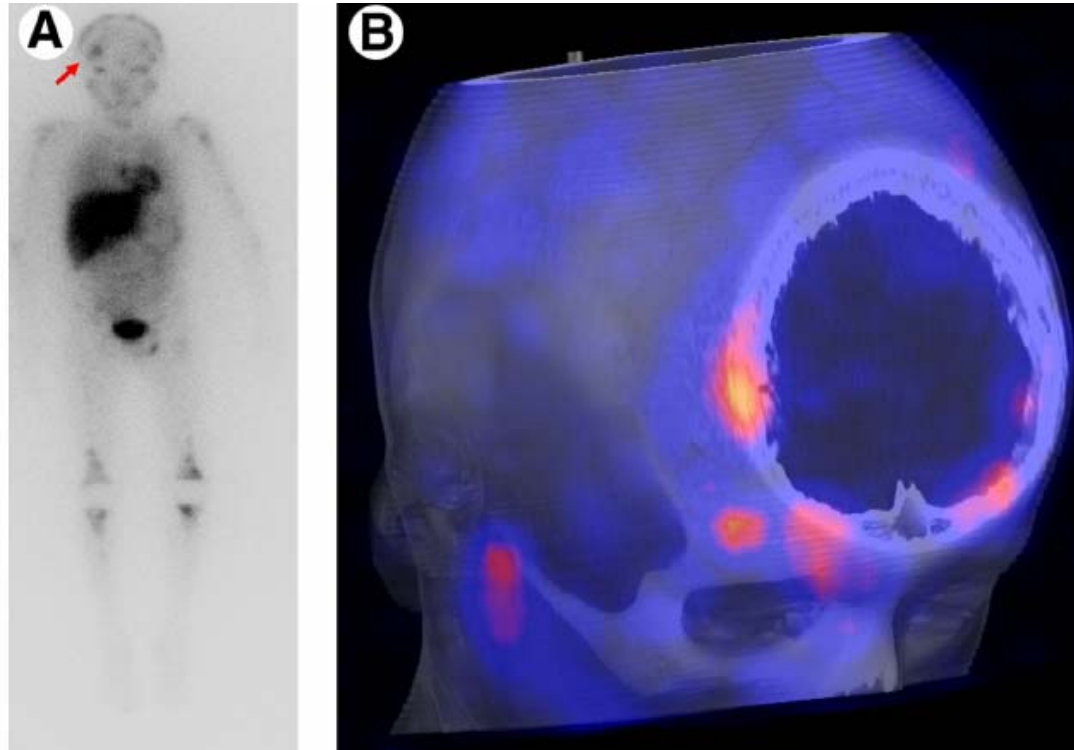


Image planaire: localisation osseuse ou méningée ?

Image en TEMP-TDM (SPECT-CT): localisation dans le crane (pas chimiothérapie intrathécale nécessaire)

A Bockisch et al. Sem Nucl Med, 2009

Enjeux et perspectives de l'imagerie en médecine nucléaire

- Principaux domaines d'application
- Répondre aux enjeux de Santé Publique
- Enjeux et perspectives technologiques
- Enjeux et perspectives « administratifs et réglementaires »

Enjeux et perspectives technologiques

Progrès en traitement d'images (SPECT/PET)

Caméras à semi-conducteurs et "caméras dédiées"

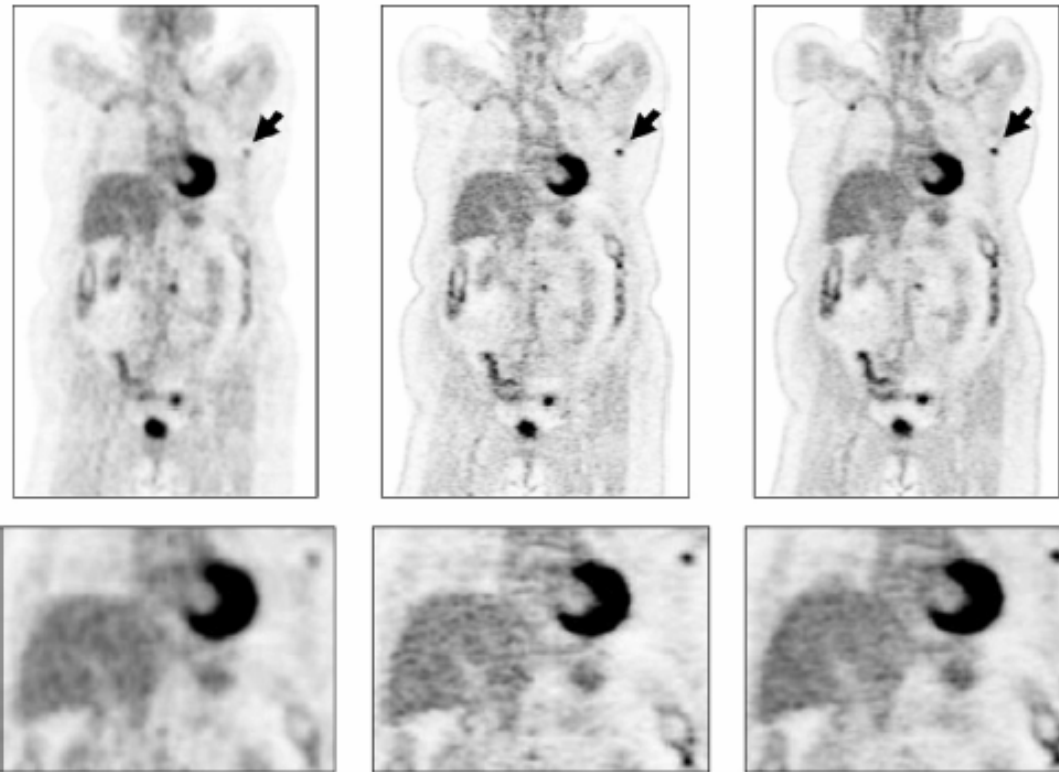
Caméras "portables"

Caméras "hybrides" et fusion d'images de modalités différentes

Enjeux et perspectives de l'imagerie corrélative en MN

Progrès en traitement d'images (SPECT/PET)

3 types de reconstruction



Fourier rebining
and 2D OSEM

3D OSEM
with HD

3D OSEM with
HD and TOF

J.A.Patton et al. Semin Nucl Med, 2009

Enjeux et perspectives technologiques

Progrès en traitement d'images (SPECT/PET)

Caméras à semi-conducteurs et "caméras dédiées"

Caméras "portables"

Caméras "hybrides" et fusion d'images de modalités différentes

Enjeux et Perspectives: “caméras à semi-conducteurs et caméras dédiées”

Nouvelle génération de gamma-caméras:

- Caméra “à pixels” (pixelated):

- une matrice de détecteurs indépendants (petits cubes élémentaires de cadmium tellure (CdTe) ou de cadmium zinc tellure (CZT) représentant chacun un pixel
- chaque détecteur est relié à un analyseur qui en mesure précisément l'énergie du photon
- nouvelles approches pour la collimation et nouveaux algorithmes

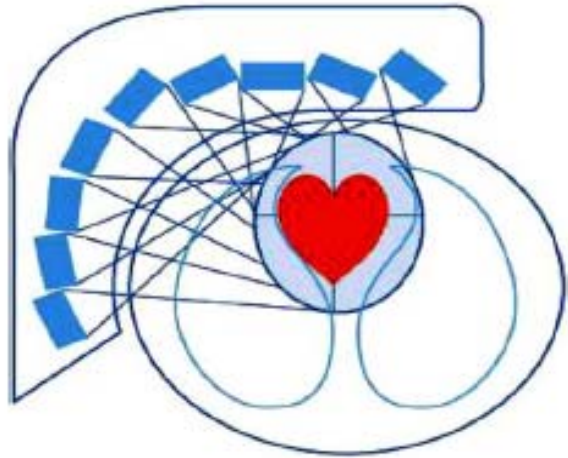
- Caractéristiques:

- Résolution spatiale légèrement améliorée
- Sensibilité de détection égale ou légèrement améliorée
- Résolution en énergie très nettement améliorée

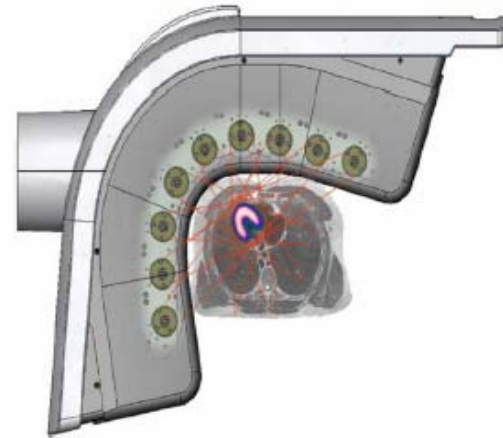
- Au total:

- Plus sensibles, “plus rapides” (“Ultrafast”)
- Injection simultanée de plusieurs radiopharmaceutiques marqués avec différents radionucléides (^{99m}Tc , ^{125}I , ^{201}Tl , ...)

Pixelated cadmium zinc telluride (CZT) multidetectors



Les détecteurs CZT sont disposés en demi-cercle et associés à des **collimateurs pinholes (sténopés)**



Wide-angle collimators with (CZT) multidetectors

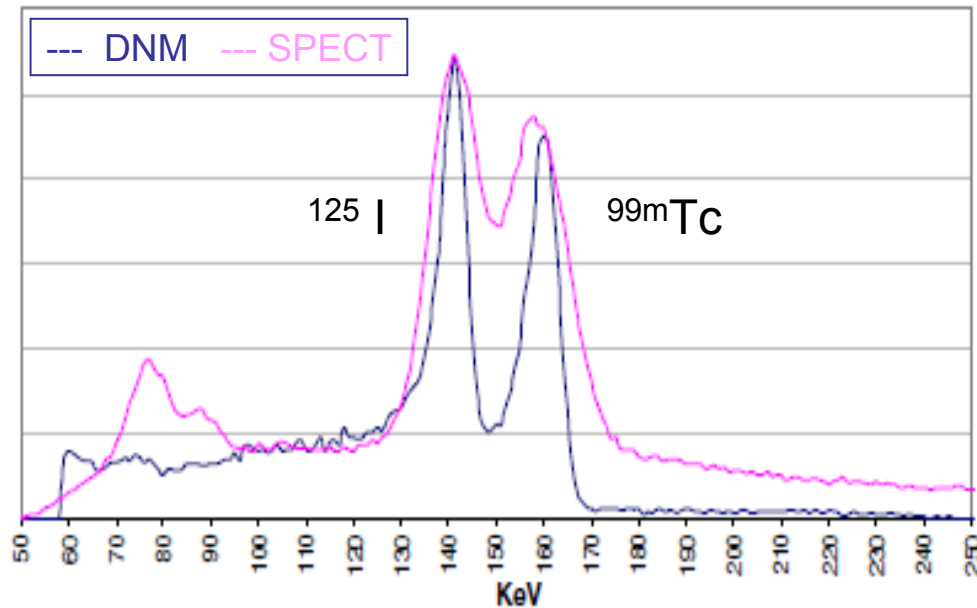


Discovery NM 530c - GE



D-SPECT- Spectrum Dynamics

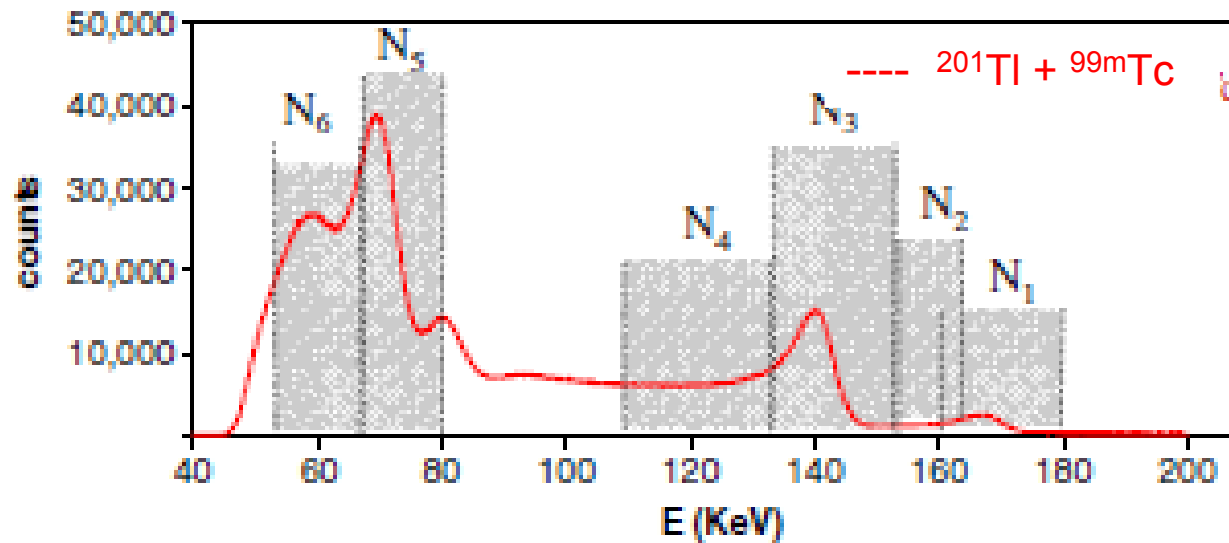
Multiple-pinhole collimator block with pixelated cadmium zinc telluride (CZT) multidetectors



Possibilité d'injection simultanée de deux radiopharmaceutiques marqués par des radionucléides différents (perfusion/métabolisme)

M.Bocher et al. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2010

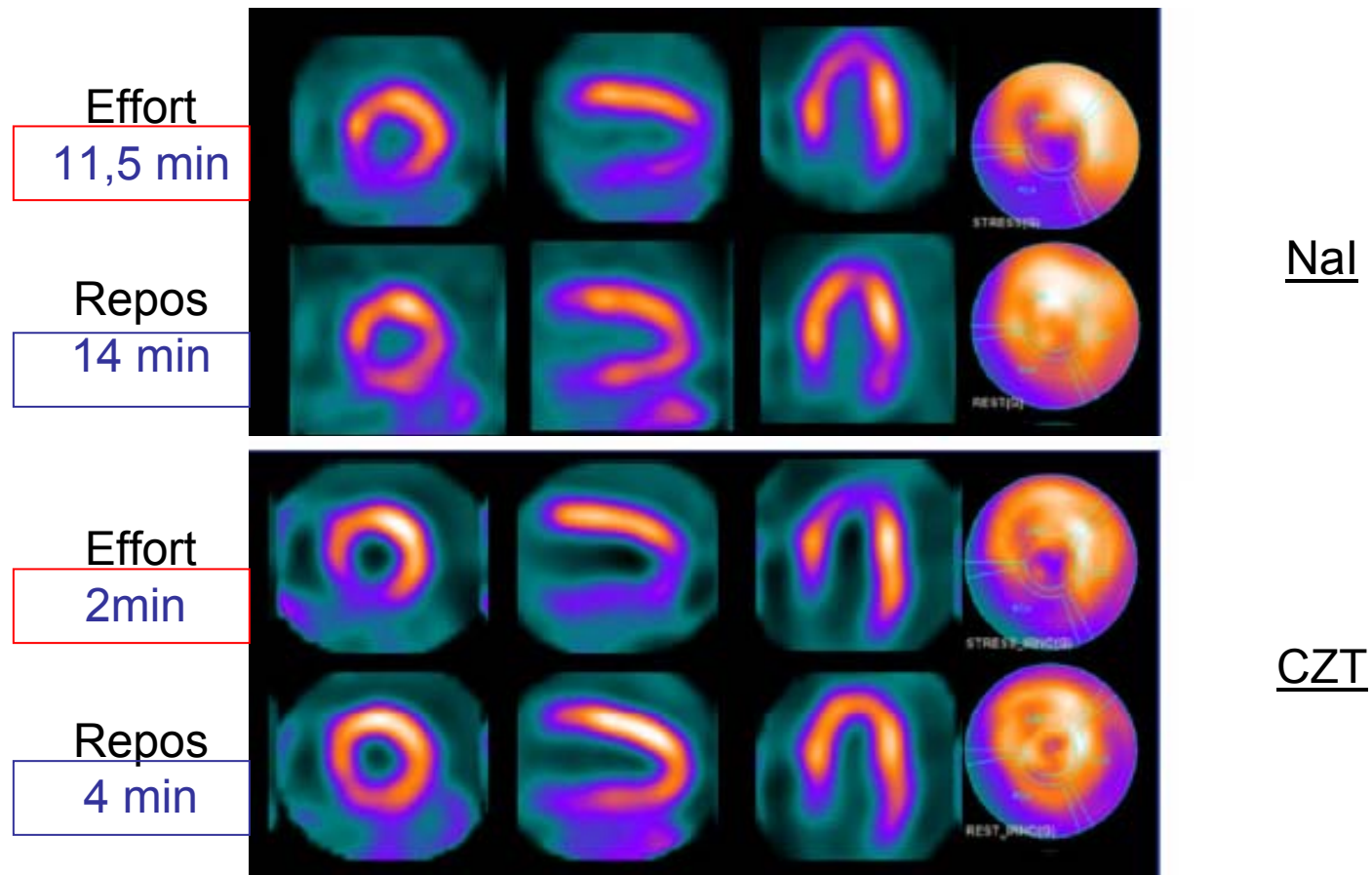
Wide-angle collimators with pixelated cadmium zinc telluride (CZT) multidetectors



Spectres d'énergie du $^{99\text{m}}\text{Tc}$ et du ^{201}Tl avec les différentes fenêtres (N) sélectionnées pour estimer le diffusé et la « réinjection » et les corriger par un algorithme approprié.

S Ben-Haim et al. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2010

Multiple-pinhole collimator block with pixelated cadmium zinc telluride (CZT) multidetectors



Ischémie inféro-septale et apicale (^{99m}Tc tétrofosmine)

M.Bocher et al. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2010

Cadmium tellure detector panel with pixel-matched collimator



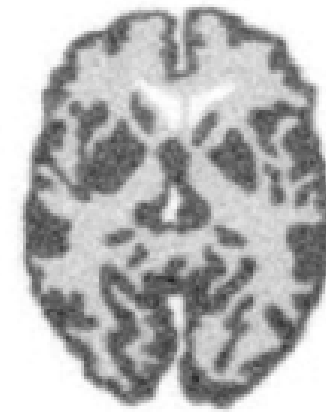
(a)

Phantom d'Hoffman



(b)

NaI(Tl)
colli « parallèle »
Haute résolution (LEHR)



(c)

CdTe
colli « parallèle »
Haute résolution (LEHR)

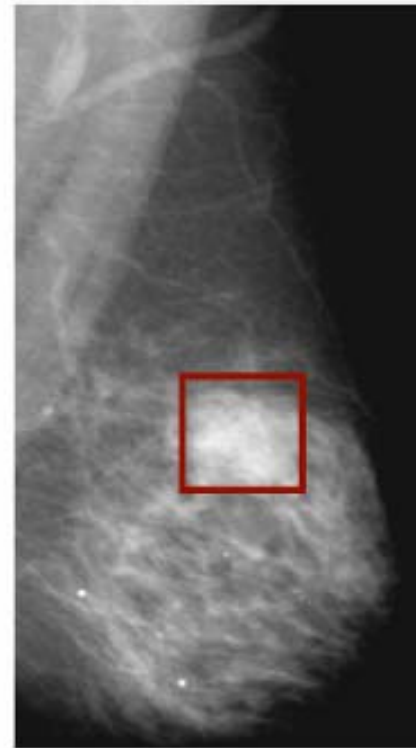
K.Tsuchiya et al. Ann Nucl Med, 2010

Dual-head dedicated cadmium zinc telluride (CZT) camera

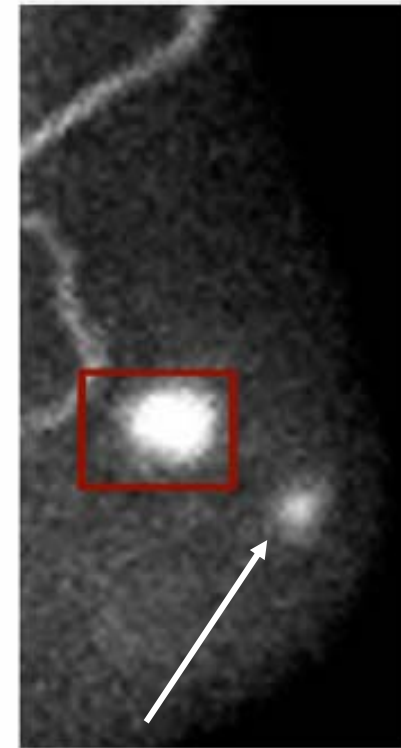


C.B.Hruska et al. AJR, 2008

Mammographie



Mammoscintigraphie
^{99m}Tc sestamibi



Lésion de 10 mm

C.B.Hruska et al. J Surg, 2008

Enjeux et Perspectives: “caméras à semi-conducteurs” et “caméras dédiées”

Perfusion myocardique

Examens cérébraux (perfusion, neuro-transmission...)

Examens pédiatriques (rein ?)

Scinti-mammographe (évaluation du traitement ?)

...

Enjeux et perspectives technologiques

Progrès en traitement d'images (SPECT/PET)

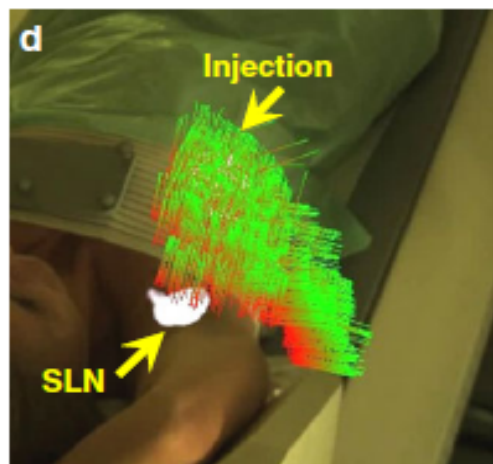
Caméras à semi-conducteurs et caméras dédiées"

Caméras "portables"

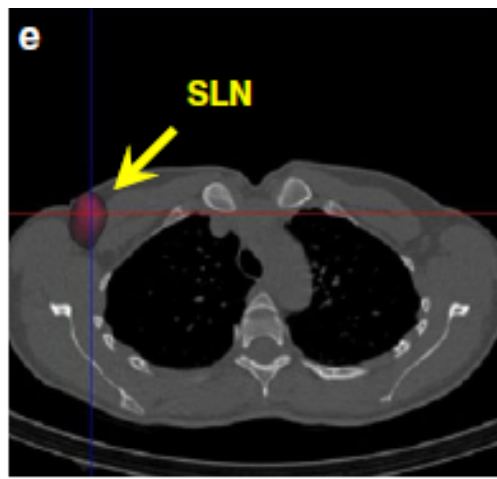
Caméras "hybrides" et fusion d'images de modalités différentes

3-D lymphatic mapping in breast cancer using a **freehand** SPECT

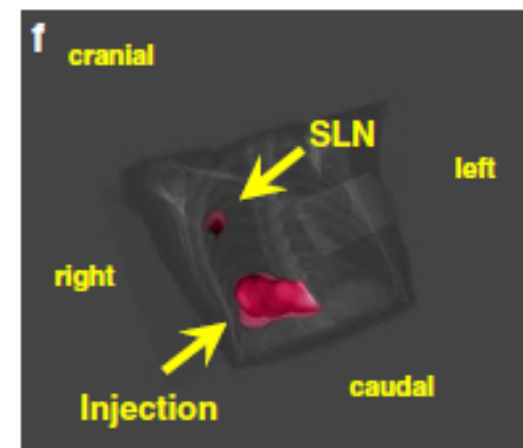
Détection du ganglion sentinelle du cancer mammaire – ^{99m}Tc nano-colloïdes



Position et orientation de la sonde gamma pendant l'acquisition



Images « à main levée » co-enregistrées avec les données CT du SPECT-CT



Visualisation finale du ganglion sentinelle (SLN)

T.Wendler et al. Eur J Nuc Med Mol Imaging, 2010

Enjeux et Perspectives: Caméras “portables”

Per-opératoire (ggl sentinelle, prostate, neuro-chirurgie..)

Surveillance “longue” au lit du malade (monitoring “cardiaque”,...?)

Mise en évidence d’effets thérapeutiques transitoires au lit du malade (rein ?)

...

Enjeux et perspectives technologiques

Progrès en traitement d'images (SPECT/PET)

Caméras à semi-conducteurs et caméras dédiées"

Caméras "portables"

Caméras "hybrides" et fusion d'images de modalités différentes

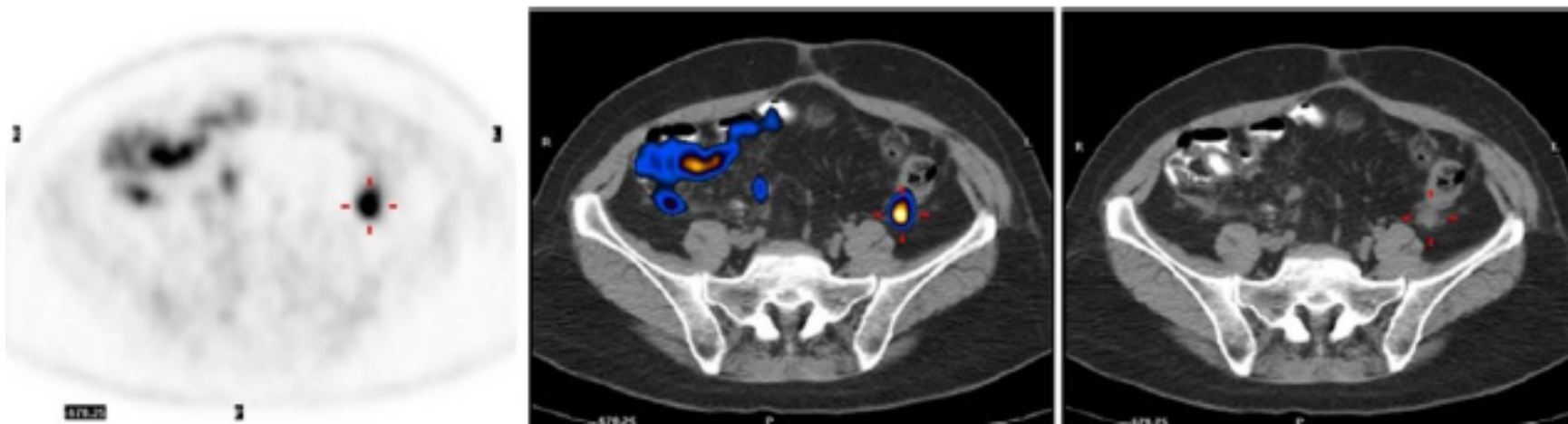
Caméras "hybrides" et fusion d'images de modalités différentes

Enjeux initiaux

- Repérage** anatomique avec amélioration de la spécificité (voire de la sensibilité du scanner)
- Correction des phénomènes physiques "génants" (corrections d'atténuation, du diffusé, de l'effet de volume partiel...) avec **quantification**
- Aide à la détermination des champs et intensités de **radiothérapie** (PET-CT)

TEMP/TDM et TEP/TDM (SPECT-CT/PET-CT) Améliorer la localisation et la spécificité !

Cancer ovarien avec augmentation des marqueurs tumoraux.



Fixation du ^{18}F -FDG dans une masse située dans les parties molles (métastase probable),
Sans CT ??? Activité colique non-spécifique ?

E.Even-Sapir et al. Sem Nucl Med, 2009

Imagerie multimodalité ou corrélative

Caméras hybrides: le fameux “one-stop shop” à l’américaine !

Eur J Nucl Med Mol Imaging
DOI 10.1007/s00259-010-1389-1

EDITORIAL COMMENTARY

Hybrid versus fusion imaging: are we moving forward judiciously?

Luca Giovanella • Giovanni Lucignani

Eur J Nucl Med Mol Imaging
DOI 10.1007/s00259-009-1378-4

SPECIAL CONTRIBUTION

Integrating imaging modalities: what makes sense from a workflow perspective?

Gustav K. von Schulthess • Cyrill Burger

Diagnostic with anatomic CT (64, 128, 256,... MDCT) & **treatment** by staging, therapeutic response assessment, follow-up with functional “PET/SPECT” .!!!

Enjeux et perspectives de l'imagerie corrélative en MN

- Développement en traitement d'images (SPECT/PET)
- Développement de la TEMP (nouvelle génération de caméras CdTe) et de la TEMP-TDM (SPECT-CT) (nouveaux RP marqués aux émetteurs monophotoniques, ^{99m}Tc , ^{123}I , ^{111}In ...)
- Développement de l'imagerie multi-modalités
 - Scanner "mégalo-barrettes" avec TEP pour "colorier" l'image ?
 - Caméras hybrides "adaptées" (16 couronnes au maxi ?, sauf cardiologie) ?
 - Fusion d'images de 2 modalités différentes "optimisées" pour ses objectifs ?
 - TEP-IRM ?

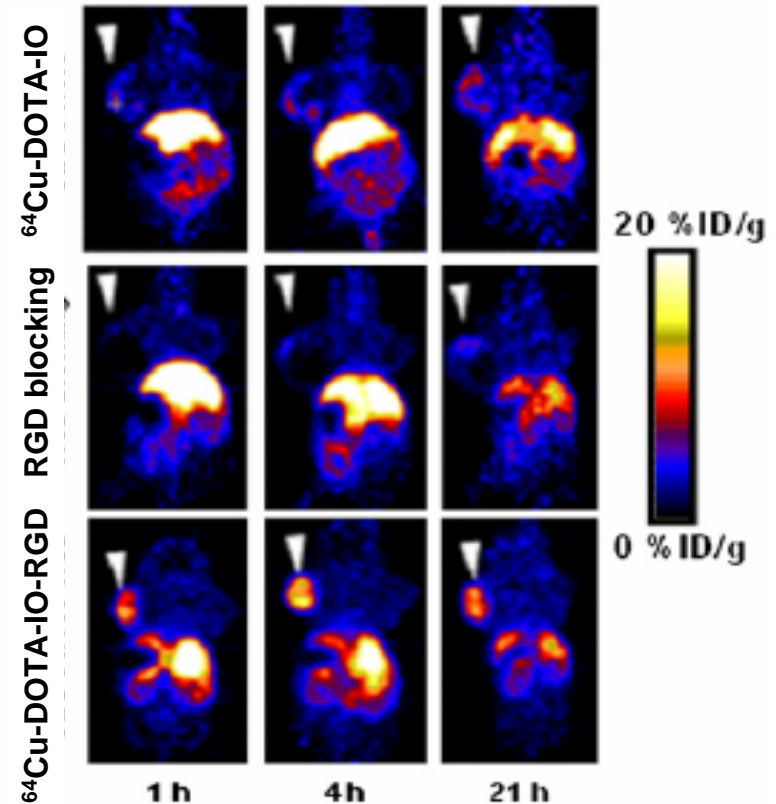
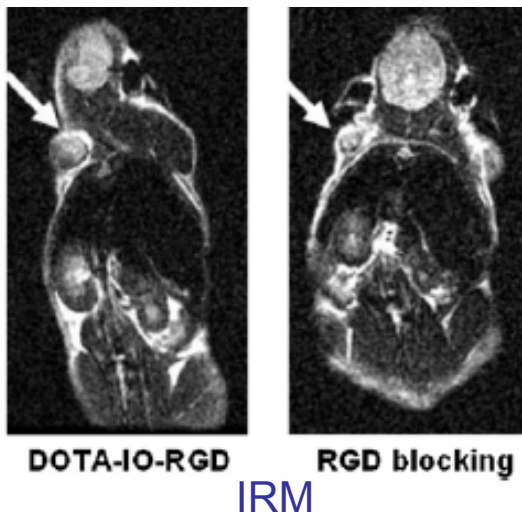
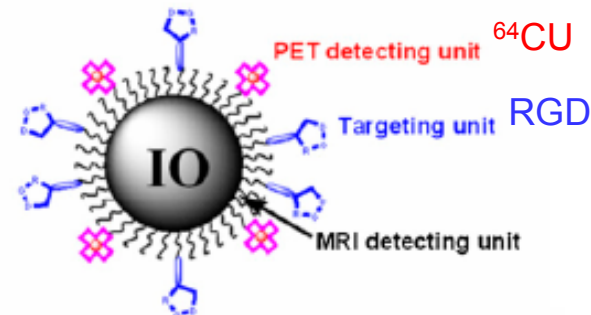
La médecine nucléaire est une spécialité médicale utilisant des radiopharmaceutiques administrés aux patients à des fins diagnostiques **ou thérapeutiques**.

(Directive Européenne de 993).

Perspective: TEP et IRM chez la souris

Nanoparticules d'oxyde de fer « coatées » par

- un chélate (DOTA) pour y attacher un radiopharmaceutique TEP (^{64}Cu) et
- un agent de vectorisation (séquence peptidique arginine-glycine-aspartic ac, RGD) qui se lie à l'intégrine $\alpha_v\beta_3$ une des cibles de la néo-angiogénèse tumorale (souris nude avec greffe de tumeur humaine U87MG).



J.F. Valliant. J Nucl Med, 2010

Enjeux et perspectives de l'imagerie en médecine nucléaire

- Principaux domaines d'application
- Répondre aux enjeux de Santé Publique
- Enjeux et perspectives technologiques
- Enjeux et perspectives « administratifs et réglementaires »

Enjeux et perspectives « administratifs et réglementaires »

- La MN est soumise à deux réglementations (Contraintes et défis!)
 - **Contraintes pharmaceutiques** (Loi N° 92-1279 du 8/12/1992)
 - Aucun effet indésirable avec préjudice depuis plus de 60 ans !
 - 35 millions d'examens dans le monde en 2008
 - Dose traceuse pour le diagnostic (radiotraceur: 10^{-4} à 10^{-5} < eff^t. pharmacologique)
 - Commercialisation et remboursement des RP émetteurs de positons (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{68}Ga , ^{64}Cu , ^{124}I ,...) autres que ceux marqués au ^{18}F (AMM « lourde »!)
 - **Contraintes de radioprotection** (CIPR 60 2002, ASN, IRSN)
- Les « tutelles aux avis avertis »:
 - « La crise irrémédiable des générateurs du ^{99}Mo / $^{99\text{m}}\text{Tc}$ »
 - « La tomographie d'émetteurs de positons (TEP ou PET) va remplacer la tomoscintigraphie monophonique (TEMP ou SPECT) ».
 - « L'imagerie multi-modalité (« hybrid imaging ») requiert les compétences des deux spécialités ou au moins celle du radiologue » (exemple USA).

« Enjeux et perspectives de l'imagerie de médecine nucléaire »

Merci de votre attention et de votre patience