

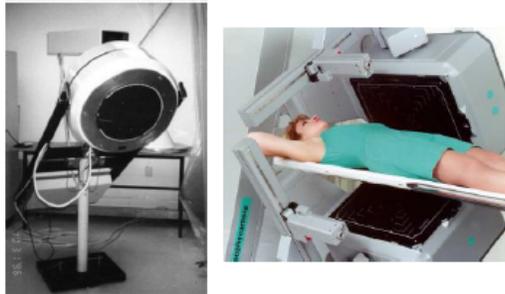
Développements récents en imagerie par scintillation

Instrumentation et quantification

Contexte



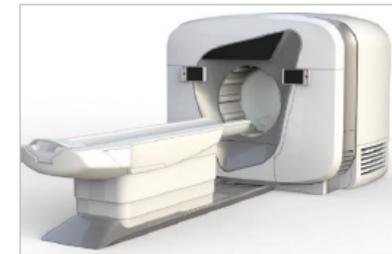
Caméras d'Anger
Détection indirecte



Caméras CZT dédiée cardiologie
Détection directe



Caméras CZT « corps entier »
Détection directe

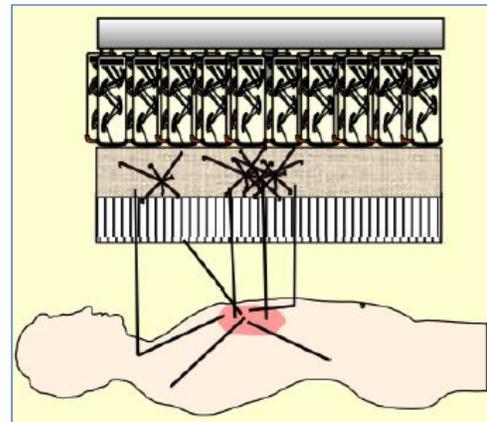


Principe de détection

Anger

- Détection indirecte
 - Conversion photons γ en photons lumineux puis en signal électrique

Scintillation



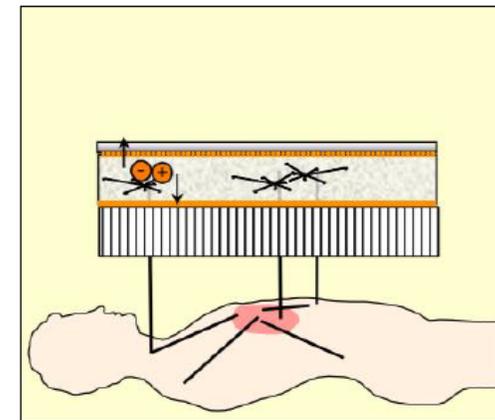
140 keV - 1500 charges

I. Buvat, 44^{ème} séminaire de printemps du CFR, 2013

CZT

- Détection directe
 - Conversion photons γ en paires e- trou

Ionisation

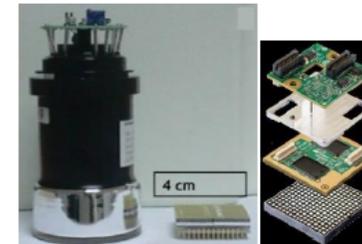


140 keV - 30000 charges
Soit 20 x / NaI(Tl)

Nichols et al. JNC 2009

Les détecteurs CZT

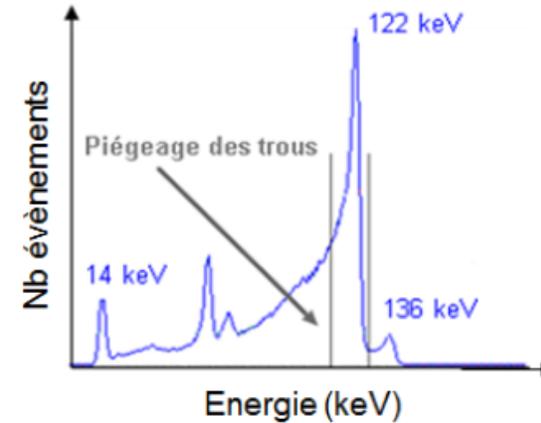
- Principe de **détection directe**
 - Nombre charges créées + important
- N° atomique et densité élevés : **bonne efficacité de détection** des photons
 - ≈ 90% des photons γ 140 keV arrêtés dans 6 mm de CZT
- Faible largeur de bande interdite (1,5 eV)
 - Fonctionnement à **T ambiante**
- Propriétés de transport correctes
 - **Résolution en énergie 2 x supérieure** / NaI(Tl)
- Détecteurs **pixélisés**
 - Résolution spatiale intrinsèque 2,46 mm
- Faible encombrement
 - Optimisation **géométrie d'acquisition**



GE Healthcare

Les détecteurs CZT

- Limites
 - Durée de vie des charges et notamment des trous
 - Défauts présents dans le matériau SC => pièges
 - Collection imparfaite des charges
 - Sous-estimation de l'énergie des photons détectés
 - Faible efficacité de détection pour des photons γ d'énergie élevée (> 200 keV) due à la faible épaisseur du détecteur SC



Peyret et al. ACOMEN 1999

- Discovery NM/CT 670 CZT (GE Healthcare)

- 2 détecteurs

- Champ de vue 39 x 51 cm

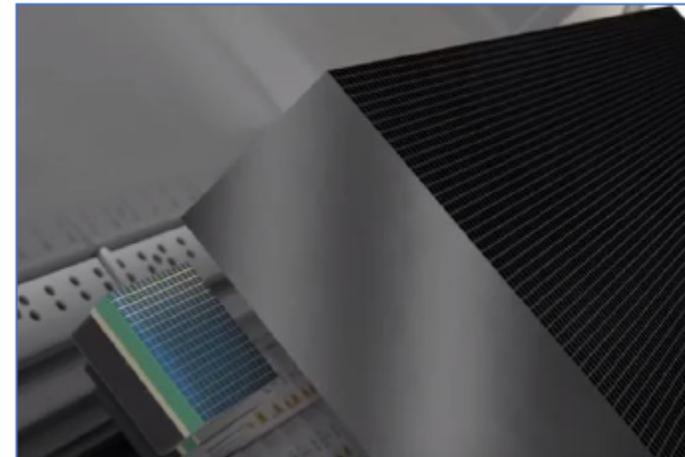
- Chaque détecteur comporte :

- 130 modules CZT de $39,4 \times 39,4 \times 5$ mm
 - Taille pixel : 2,46 mm
 - Collimateur ajusté à la taille du pixel

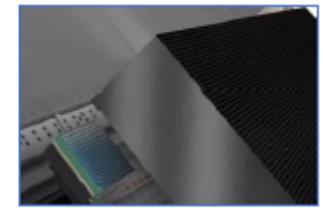


→ 7,5 mm

Ouverture	2,26 mm
Epaisseur septa	0,2 mm
Longueur septa	50 / 45 mm



- Discovery NM/CT 670 CZT (GE Healthcare)

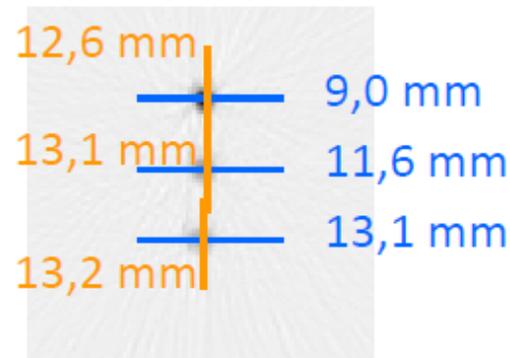


- Géométrie de détection

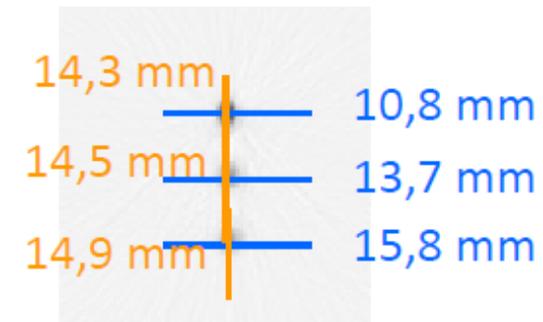
	Symbia LEHR	CZT WEHR	CZT WEHR 45	CZT WEHR 45 Ép. 7,5 mm
Fenêtre en énergie	$^{99m}\text{Tc} \pm 7,5\%$	$^{99m}\text{Tc} \pm 10\%$	$^{99m}\text{Tc} \pm 7,5\%$	$^{99m}\text{Tc} \pm 7,5\%$
Sensibilité détection (cps/sec/MBq)	103,4	53,8	63,8	78,5

Résolution spatiale mode
tomo milieu diffusant
256 projections
Reconstruction RPF

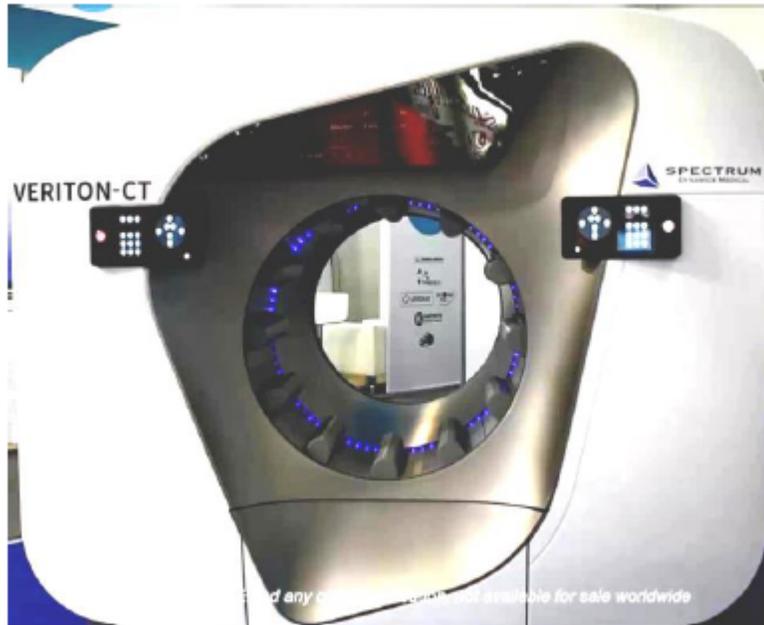
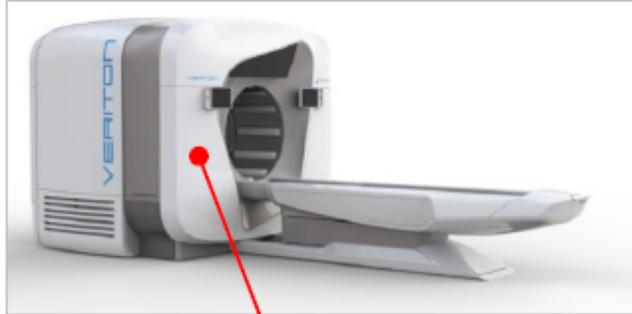
CZT WEHR



CZT WEHR 45



- Veriton-CT (Spectrum Dynamics)



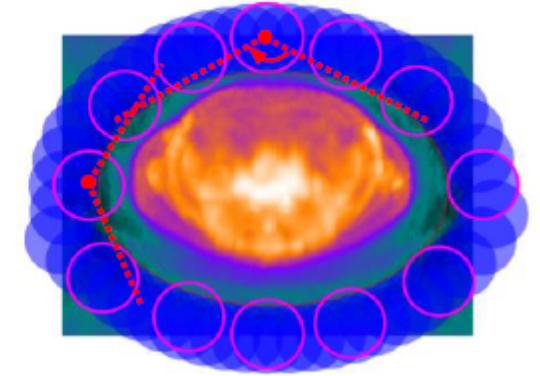
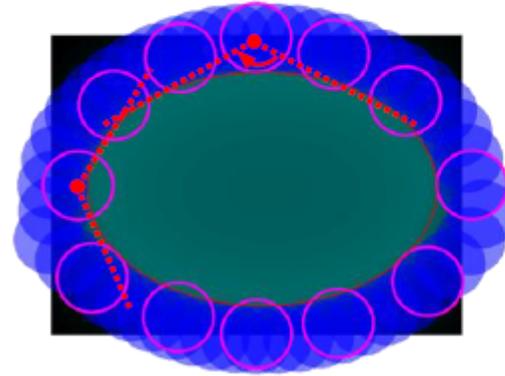
Ouverture statif NM : Ø max/min	80 cm / 23 cm
Nombre détecteurs	12
Champ de vue axial	32 cm
Collimateur	tungstène
Forme septa	carré
Ouverture septa	1,23 mm

Efficacité géométrique x 4 / LEHR

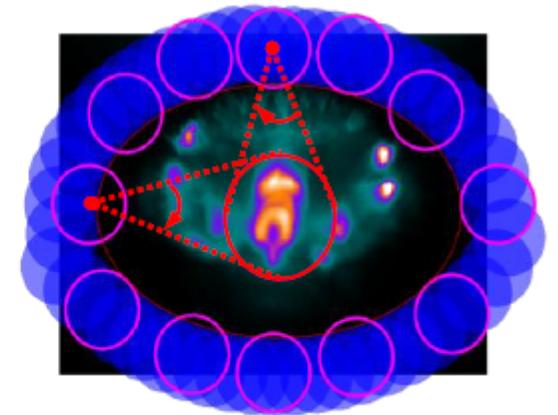
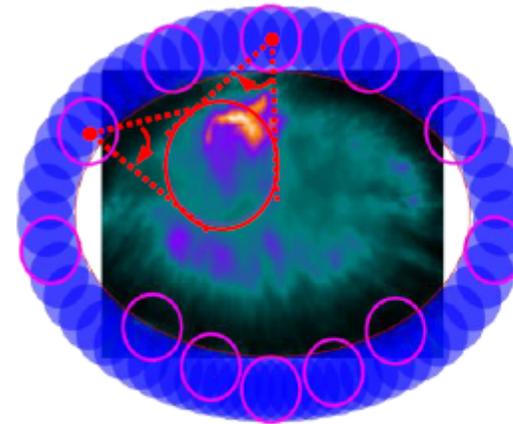
Ouverture statif CT : Ø	85 cm
Scanner	16 ou 64 coupes
Reconstruction	itérative

- Veriton-CT (Spectrum Dynamics)

- Orbite circulaire
Volume de détection "large"



- Mode "focus"
sensibilité détection x2-4
améliorer la résolution spatiale

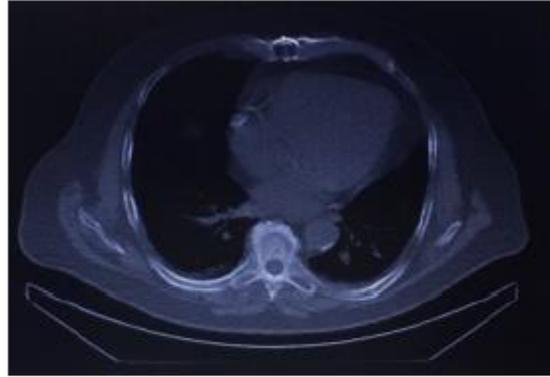
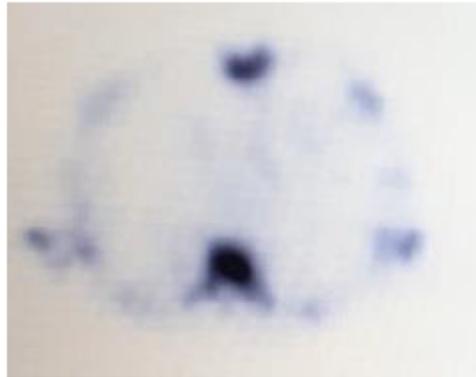


- Mode planaire*

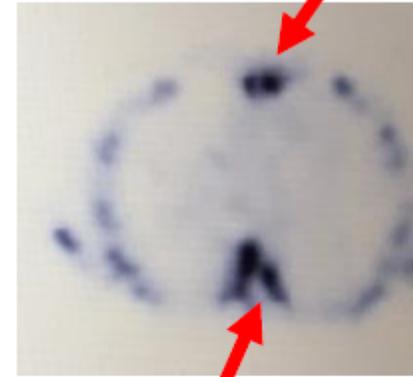
- Comparaison performances / caméra d'Anger
 - Exemple clinique : **scintigraphie osseuse**

SPECT/CT ^{99m}Tc

Discovery NM/CT
670 NaI



Discovery NM/CT
670 CZT



Patient avec cancer prostate, 686 MBq ^{99m}Tc -HMDP
128x128, 60 proj / 360°, 20 sec/proj

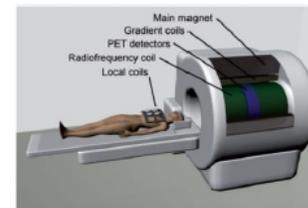
*Université Otto von Guericke
de Magdebourg - EANM 2017*

Les TEP/IRM

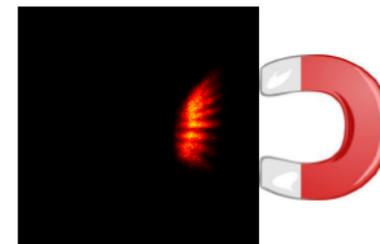
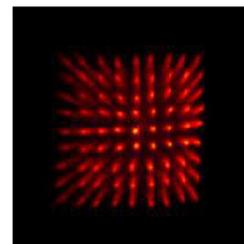
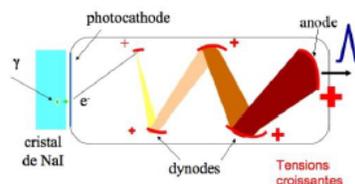
Challenge méthodologique initial : TEP/IRM

Contexte : Développement du TEP/IRM

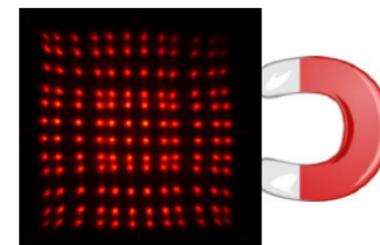
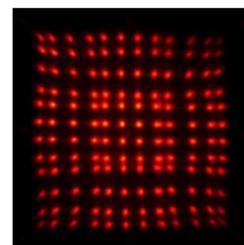
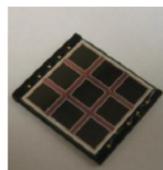
Les détecteurs traditionnels à base de TPM, sont sensibles aux champs magnétiques et ne peuvent donc être utilisés en TEP/IRM



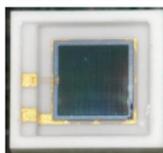
Tube photomultiplicateur (TPM)



Diode à avalanche (APD)



Photomultiplicateur au silicium (SiPM)



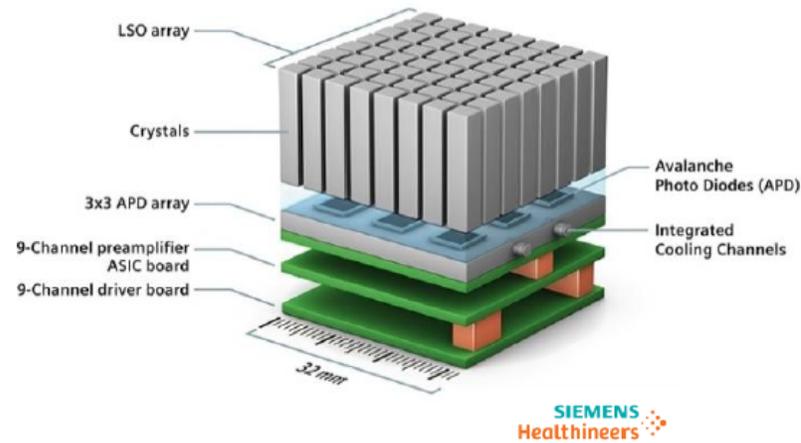
- Format compact par rapport aux TPM



B.J. Pichler et al., J Nucl Med, 2006

Les TEP/IRM

TEP/IRM simultané : Les réalisations industrielles



- Cristal LSO 4x4x20mm³
- Bloc de détecteurs : matrice de LSO de 8x8 couplé à une matrice APD de 3x3
- Anneau = 56 blocs de détecteurs
- 8 anneaux

Cristal LBS Module TEP Anneau TEP



Cristal dimensions:
5.3x3.95x25mm³



GE Healthcare



- Cristal LYSO 5,3x4x25mm³
- Bloc de détecteurs : matrice de LYSO de 4x9 couplée à une matrice SiPM de 3x6
- 1 module = 20 blocs (4x5)
- Anneau = 28 modules de détecteurs

TEP/IRM simultané : Les réalisations industrielles



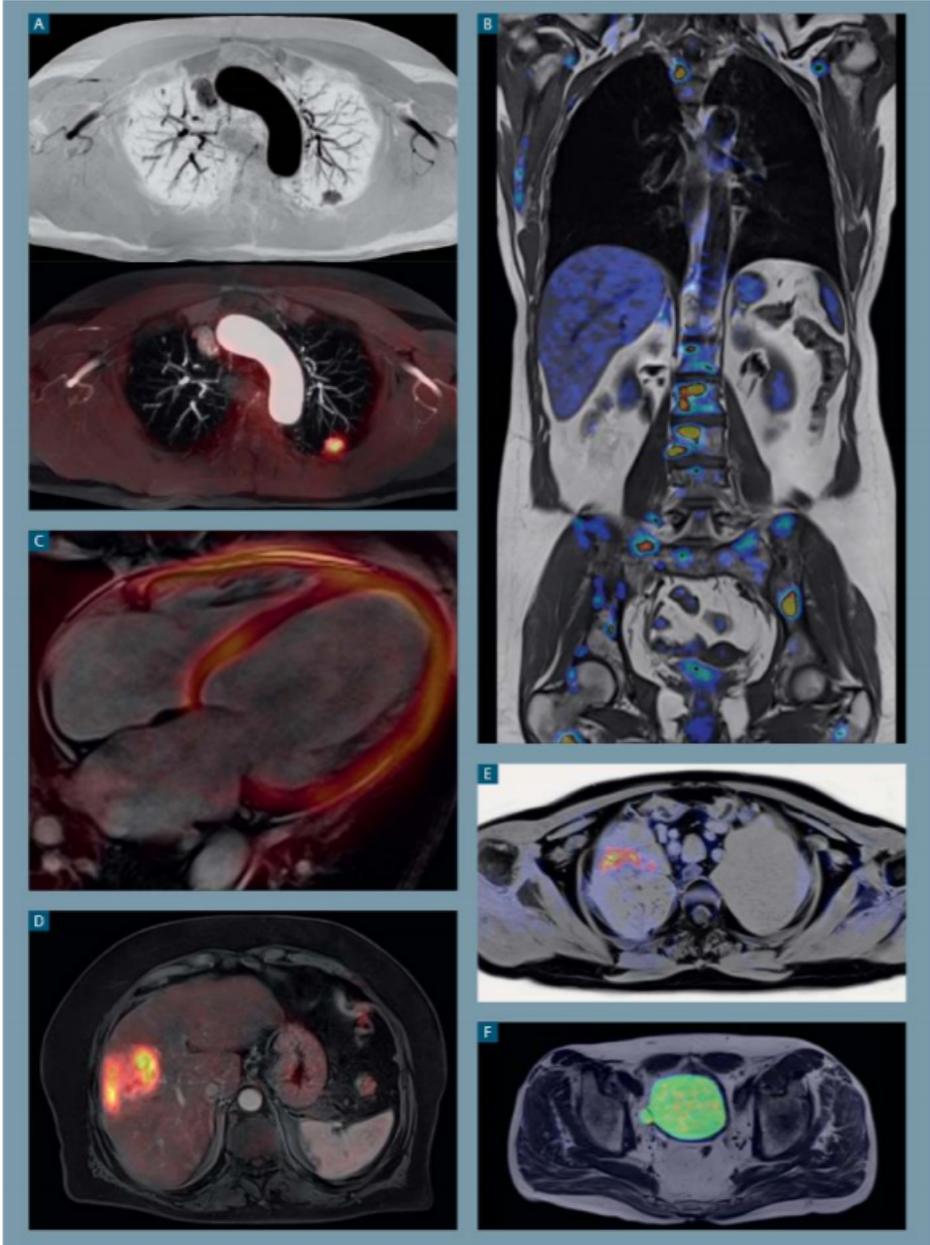
SIEMENS
Healthineers

- TEP/IRM intégré avec IRM 3T
- Technologie : LSO + APD
- Pas de mesure du temps de vol
- Acquisition simultanée TEP et IRM
- Mis sur le marché en 2011



- TEP/IRM intégré avec IRM 3T
- Technologie : LYSO + SiPM
- Mesure du temps de vol
- Acquisition simultanée TEP et IRM
- Mis sur le marché en 2014

Quelques exemples d'images



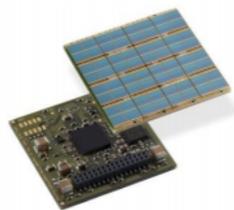
Livraison d'une TEP/IRM à Nantes le 2/3/2021



Les TEP/TDM « numérique »

- A profit du développement des Si-PM des TEP/IRM, les constructeurs ont appliqué cette technologie pour les TEP/TDM.

Vereos TEP/TDM Philips



2013
Cristal LYSO
SiPM, couplage 1:1
325 ps

Discovery MI GE



GE Healthcare



2017
Cristal LYSO
SiPM, couplage 2:1
375 ps

Biograph Vision Siemens

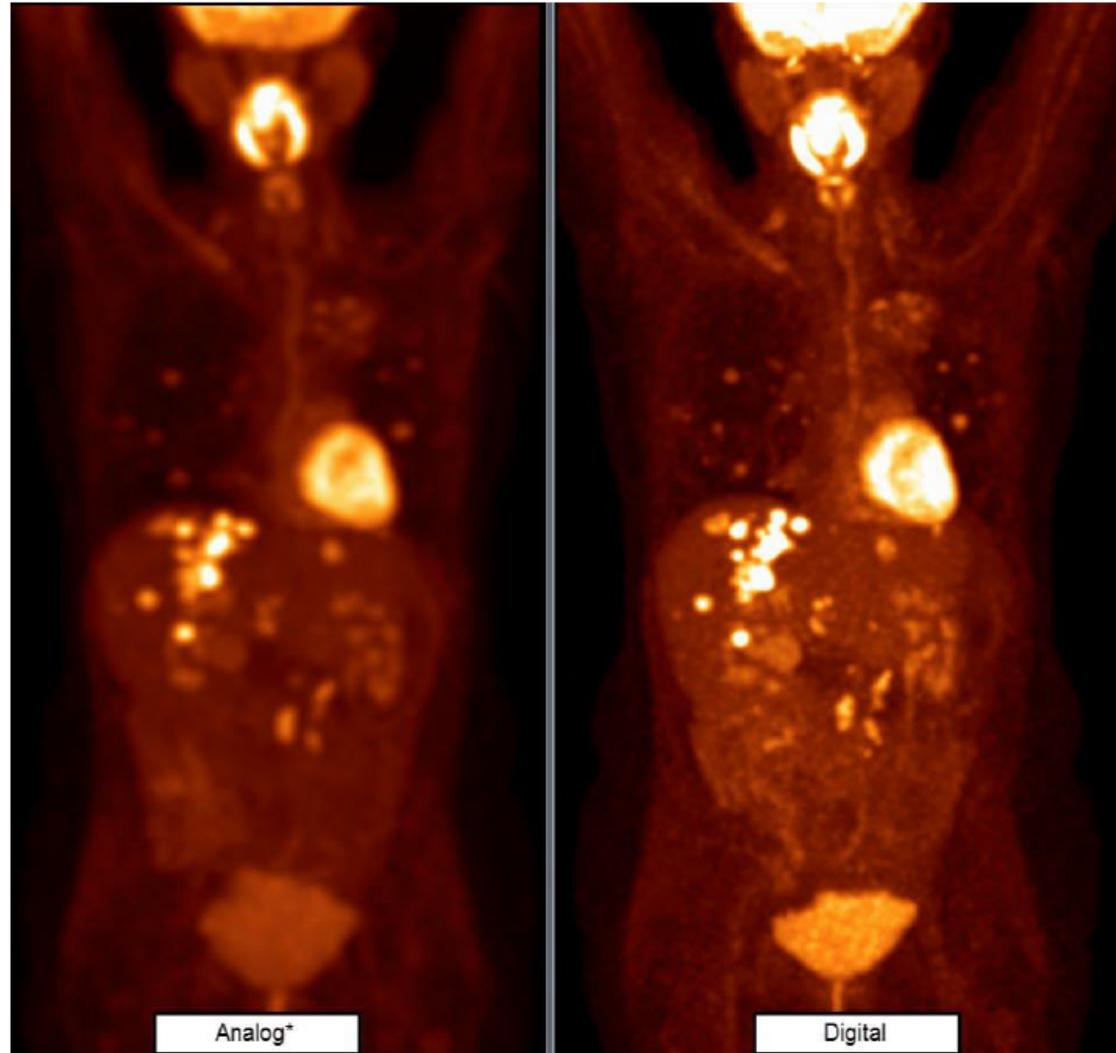


SIEMENS
Healthineers

2018
Cristal LSO
SiPM, couplage 1,5:1
250 ps

Meilleure résolution temporelle

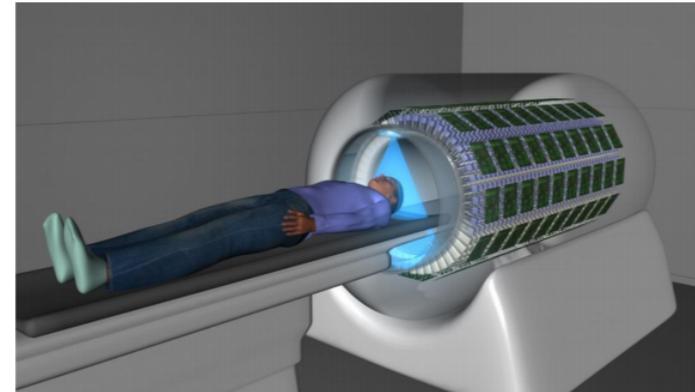
Des meilleures performances d'imagerie



Augmentation de taille du champ de vue axial

- Amélioration de la sensibilité (cps/MBq) du système
 - Acquisition plus rapide
 - Diminution de l'activité injectée du radiopharmaceutique

- Développement d'une caméra TEP/TDM **corps entier**
- Acquisition CE en 3 min
- Acquisition dynamique CE
 - Etudes de nouveaux radiotraceurs, ...



<https://explorer.ucdavis.edu/>

TEP Corps entier : UCDavis Explorer

Cristal LYSO 2,76x2,76x18,1mm + SiPM

Diamètre de l'anneau TEP = 78,6 cm

CdV axial = 195 cm

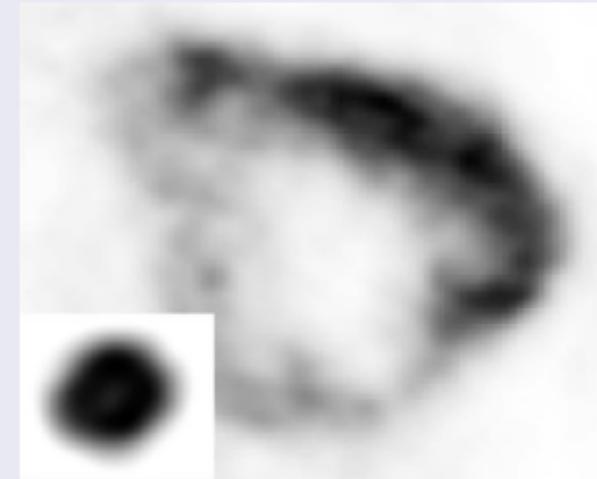
Au total : 564480 cristaux et 53760 SiPM

Résolution temporelle = 400ps

Extraire des informations pertinentes des images

Quelles mesures ? indices de 2nd ordre

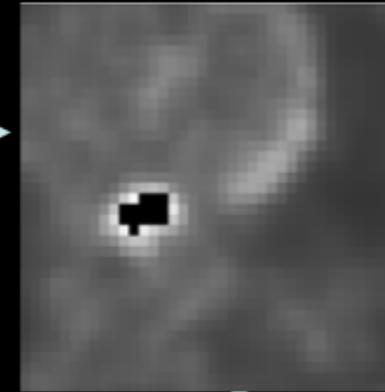
- Hétérogénéité de fixation tumorale
- Analyse de texture : homogénéité, entropie, ...
 - Relation entre l'intensité des voxels et leurs positions (*Haralick et al, IEEE Trans Syst Man Cybern, 1973*)
- Nouveau champ d'étude
 - Pas d'outils en routine clinique
 - Prédictif de la réponse thérapeutique (à confirmer)



Classification

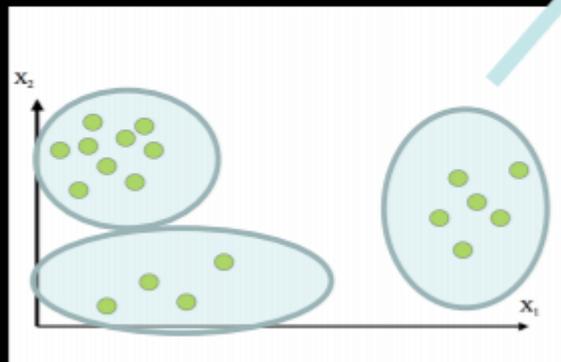


Segmentation



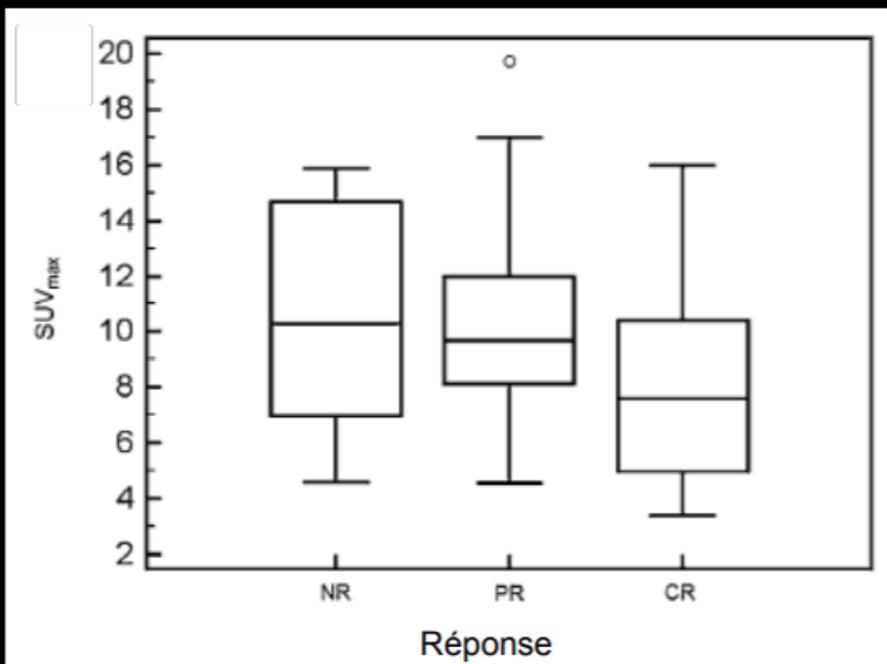
Prédiction de la
réponse
thérapeutique de
nouveaux patients

Extraction des
paramètres
d'hétérogénéité

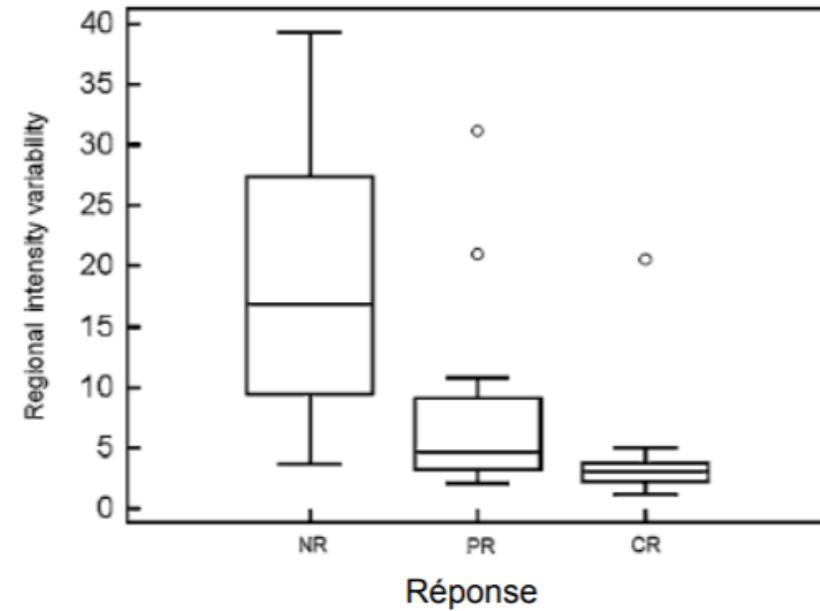
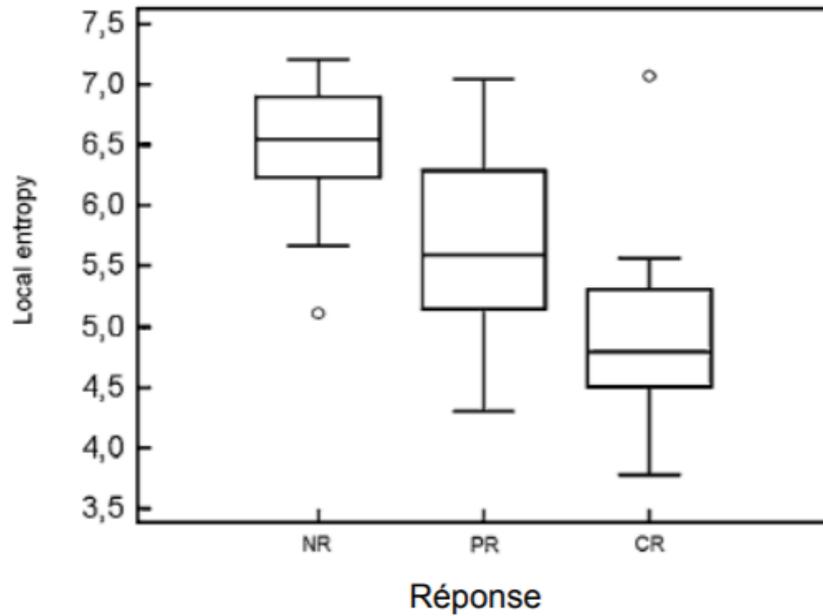


Classification

Paramètres → Patients ↓	f_1	...	f_k
p_1			
...			
p_n			



NR = Non Répondeur
PR = Répondeur Partiel
CR = Répondeur Complet



Questions ?