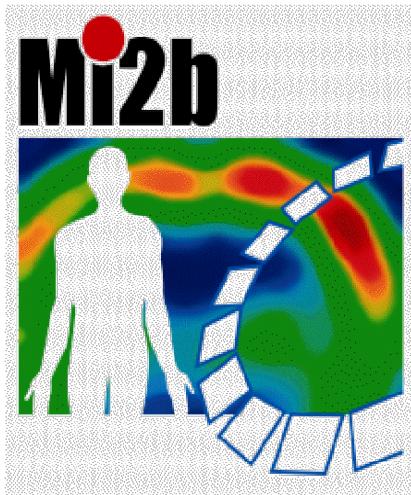




GDR

Groupement
de recherche

MI2B Outils et méthodes nucléaires
pour la lutte contre le cancer



R&D en Tomographie par Emission de Posit(r)ons (TEP)

David Brasse, CNRS, IPHC
Marc-Antoine Verdier, UPC, IJCLab
Christian Morel, amU, CPPM

Résolution radiale intrinsèque de la TEP

$$R(s) = a \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + b^2 + r^2 + (0.0022 D)^2 + \frac{(w^2 - d^2)}{D^2} s^2}$$

d : dimension du pixel

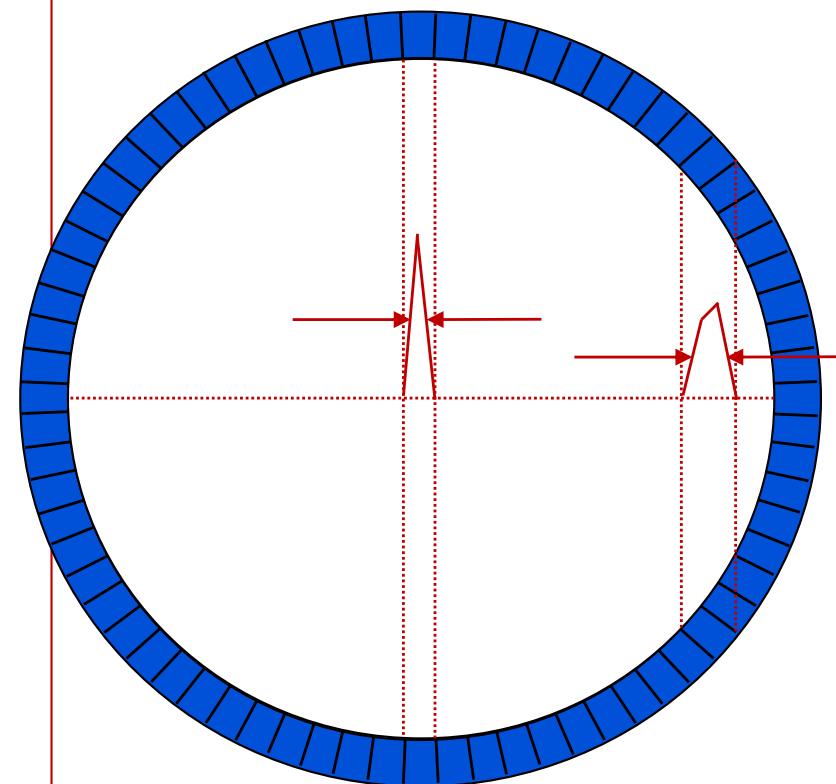
w : longueur du pixel

D : diamètre de l'anneau

r : parcours du positon

b : décodage de la position
du point d'interaction

a : facteur empirique donné
par la méthode de reconstruction
(1,1 - 1,3)

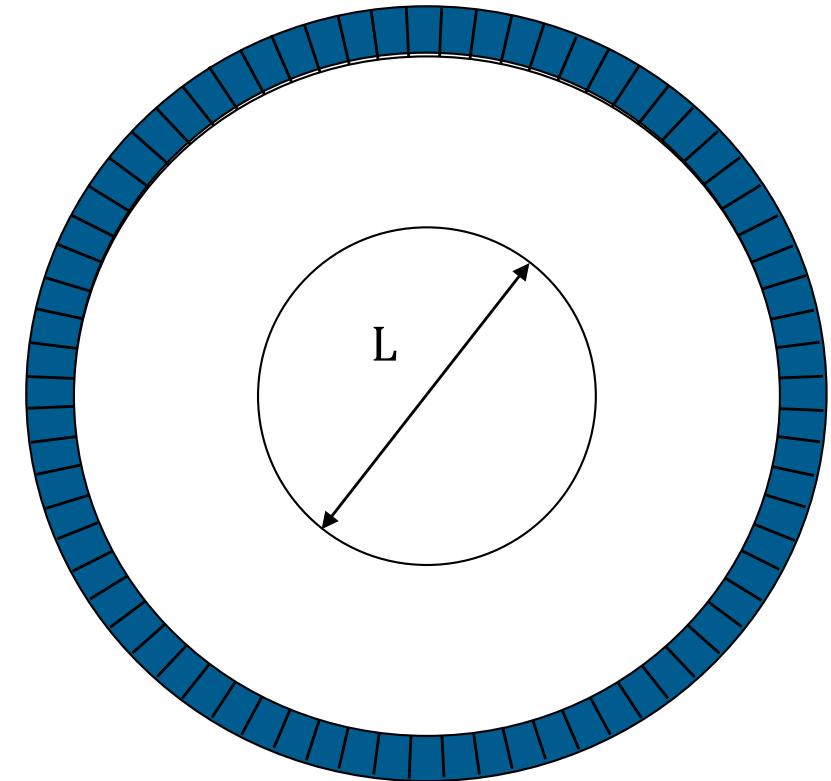


SNR et statistique de comptage

$$\text{SNR} = \frac{A}{\Delta A} = \frac{N_{\beta^+}}{\sqrt{N_{\beta^+}}} = \sqrt{N_{\beta^+}}$$

$$\Rightarrow N_{\beta^+} = \text{SNR}^2$$

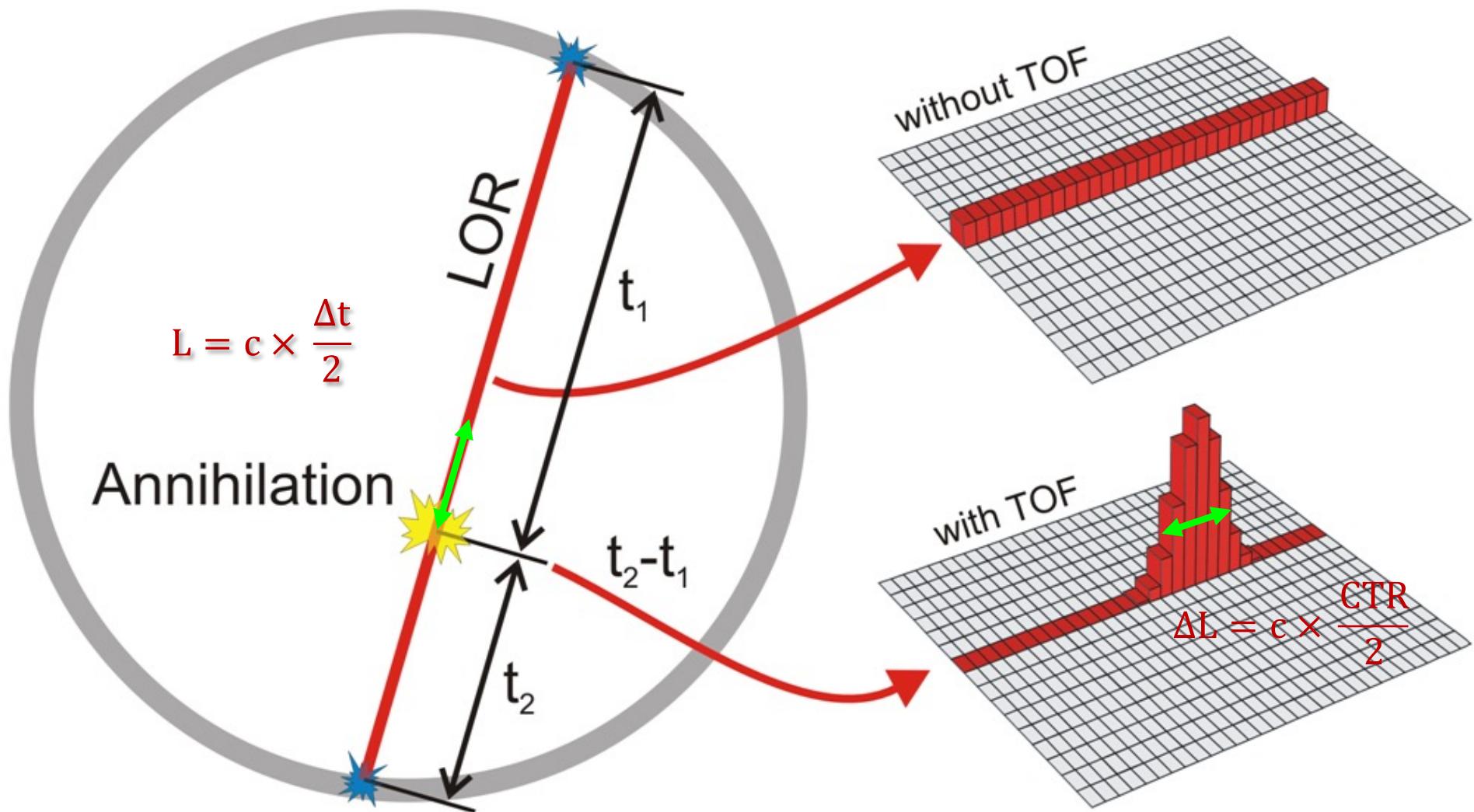
$$N_{\text{evt}} = \left(\frac{L}{d}\right)^3 \times \text{SNR}^2 \times \left(\frac{L}{d}\right)$$



Améliorer la résolution spatiale x 2 \Rightarrow Augmenter la statistique de comptage x 16
pour obtenir le même SNR dans les voxels de l'image reconstruite

- ↗ Durée du scan
- ↗ Activité injectée
- ↗ Epaisseur du cristal (efficacité)
- ↗ Angle solide

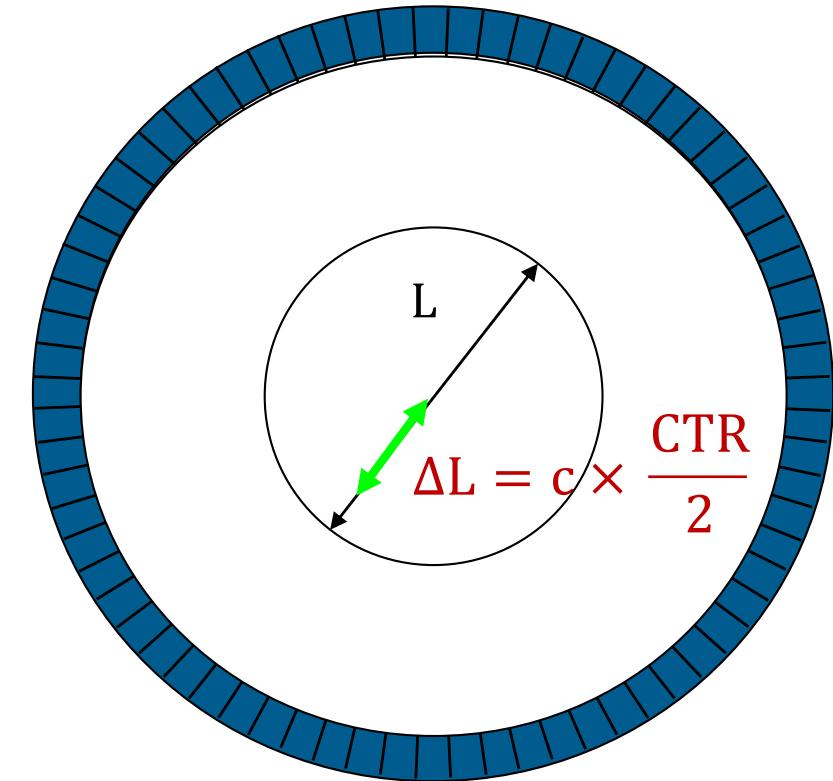
TEP à temps-de-vol (TOF-PET)



Impact de la TOF-TEP sur le SNR de l'image

$$N_{\text{evt}} = \left(\frac{L}{d}\right)^3 \times \text{SNR}^2 \times \left(\frac{L}{d}\right)$$

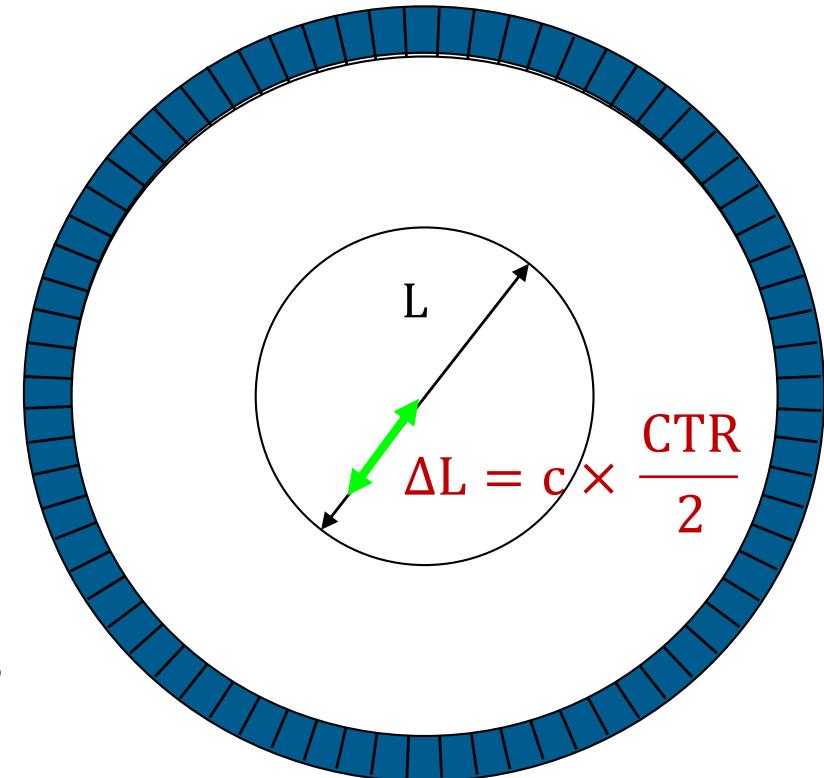
$$N_{\text{TOF}} = \left(\frac{L}{d}\right)^3 \times \text{SNR}^2 \times \left(\frac{\Delta L}{d}\right)$$



Impact de la TOF-TEP sur le SNR de l'image

$$N_{\text{evt}} = \left(\frac{L}{d}\right)^3 \times \text{SNR}_{\text{nonTOF}}^2 \times \left(\frac{L}{d}\right)$$

$$N_{\text{evt}} = \left(\frac{L}{d}\right)^3 \times \text{SNR}_{\text{TOF}}^2 \times \left(\frac{\Delta L}{d}\right)$$



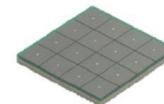
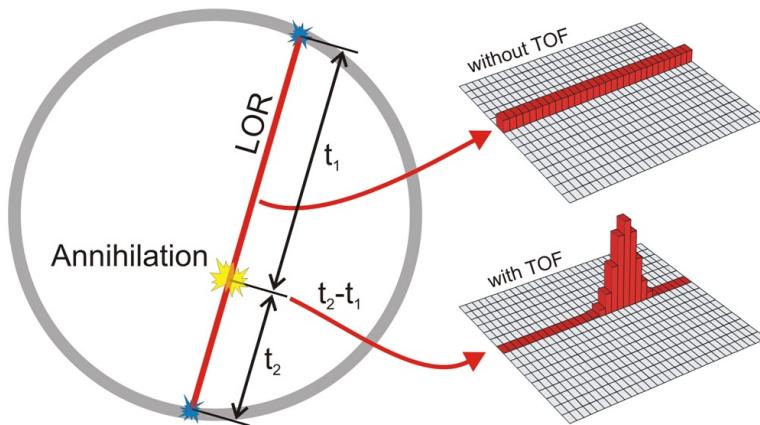
Pour le même nombre de coïncidences

$$\left(\frac{\text{SNR}_{\text{TOF}}}{\text{SNR}_{\text{nonTOF}}}\right)^2 = \frac{2L}{c \times \text{CTR}}$$

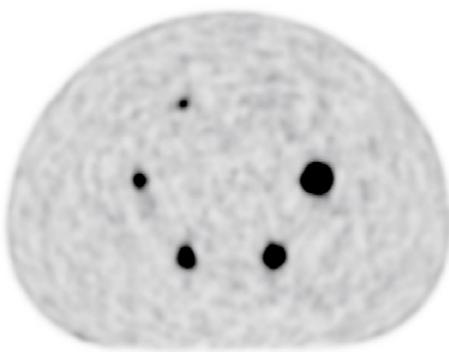
Pour le même rapport signal-sur-bruit (SNR) dans l'image

$$\frac{N_{\text{TOF}}}{N_{\text{nonTOF}}} = \frac{c \times \text{CTR}}{2L}$$

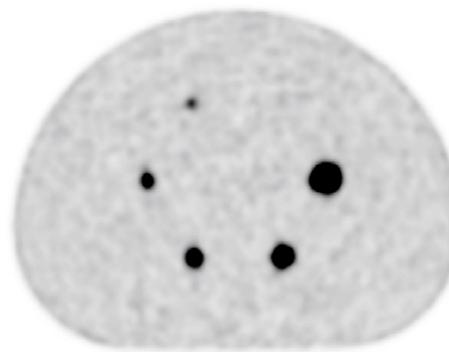
Time-Of-Flight (TOF)-PET



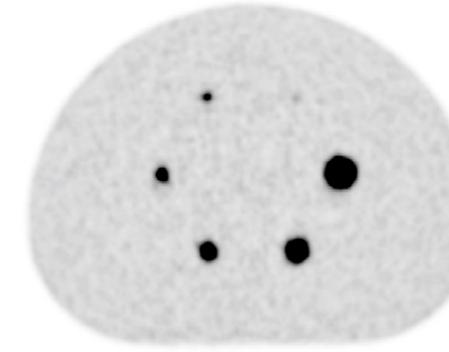
$$\left(\frac{\text{SNR}_{\text{TOF}}}{\text{SNR}_{\text{nonTOF}}} \right)^2 = \frac{2L}{c \times \text{CTR}}$$



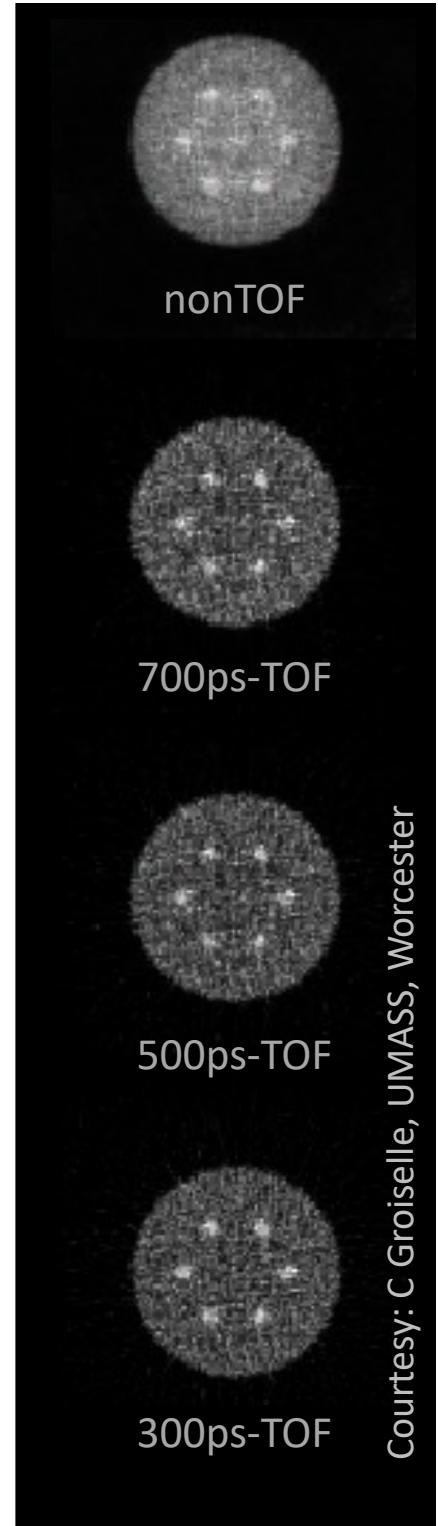
nonTOF



527 ps-TOF



210 ps-TOF



Courtesy: C Groiselle, UMASS, Worcester

Physics in Medicine & Biology



Topical Review

Roadmap toward the 10 ps time-of-flight PET challenge

Paul Lecoq¹ , Christian Morel² , John O Prior³ , Dimitris Visvikis⁴ , Stefan Gundacker^{1,5} ,
Etienne Auffray¹ , Peter Križan⁶ , Rosana Martinez Tortos^{1,21} , Dominique Thers⁷ ,
Edoardo Charbon⁸ , Joao Varela⁹ , Christophe de La Taille¹⁰ , Angelo Rivetti¹¹ ,
Dominique Breton¹² , Jean-François Pratte¹³ , Johan Nuyts¹⁴ , Suleman Surti¹⁵ ,
Stefaan Vandenberghe¹⁶ , Paul Marsden¹⁷ , Katia Parodi¹⁸ , Jose Maria Benlloch¹⁹ and Mathieu Benoit²⁰

¹ CERN, department EP, Geneva, Switzerland

² Aix-Marseille Univ, CNRS/IN2P3, CPPM, Marseille, France

³ Department of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, CHUV, Lausanne, Switzerland

⁴ LaTIM, INSERM, UMR 1101, University of Brest, Brest, France

⁵ UniMIB, Milano, Italy

⁶ Faculty of mathematics and physics, University of Ljubljana, and J. Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

⁷ SUBATECH, IMT Atlantique, CNRS/IN2P3, Université de Nantes, Nantes 44307, France

⁸ Advanced Quantum Architecture Lab (AQUA), EPFL, Rue de la Maladière 71b, 2002, Neuchâtel, Switzerland

⁹ LIP, University of Lisbon, Lisbon, Portugal

¹⁰ Ecole Polytechnique, CNRS/IN2P3, Omega, Palaiseau, France

¹¹ INFN, Torino, Italy

¹² Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, CNRS/IN2P3, Orsay, France

¹³ Interdisciplinary Institute for Technological Innovation – 3IT, Université de Sherbrooke, Canada

¹⁴ KU Leuven, Belgium

¹⁵ University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, United States of America

¹⁶ University of Ghent, Belgium

¹⁷ School of Biomedical Engineering and Imaging Sciences, King's College, London, United Kingdom

¹⁸ Ludwig-Maximilians-Universität München, Department of Experimental Physics – Medical Physics, Munich, Germany

¹⁹ UPV, Valencia, Spain

²⁰ Département de Physique Nucléaire et Corpusculaire (DPNC), Université de Genève, 24 Quai Ernest Ansermet, 1211, Genève 4, Switzerland

²¹ Institute of Physics and Astronomy, Aarhus University, 120 Ny Munkegade, 8000, Aarhus, Denmark

E-mail: paul.lecoq@cern.ch and morel@cppm.in2p3.fr

Keywords: positron emission tomography, detection of annihilation photons, photo-detectors, image reconstruction, 10 ps TOF-PET

Total Body-PET scanner Biograph Vision Quadra

Ring diameter: 82 cm

Transaxial FOV: 78 cm

Axial FOV: 106 cm

CTR: 230 ps FWHM

LSO crystals:

3.2 x 3.2 x 20 mm³

of crystals: 243,200

of SiPM arrays (16 x 16): 9,728

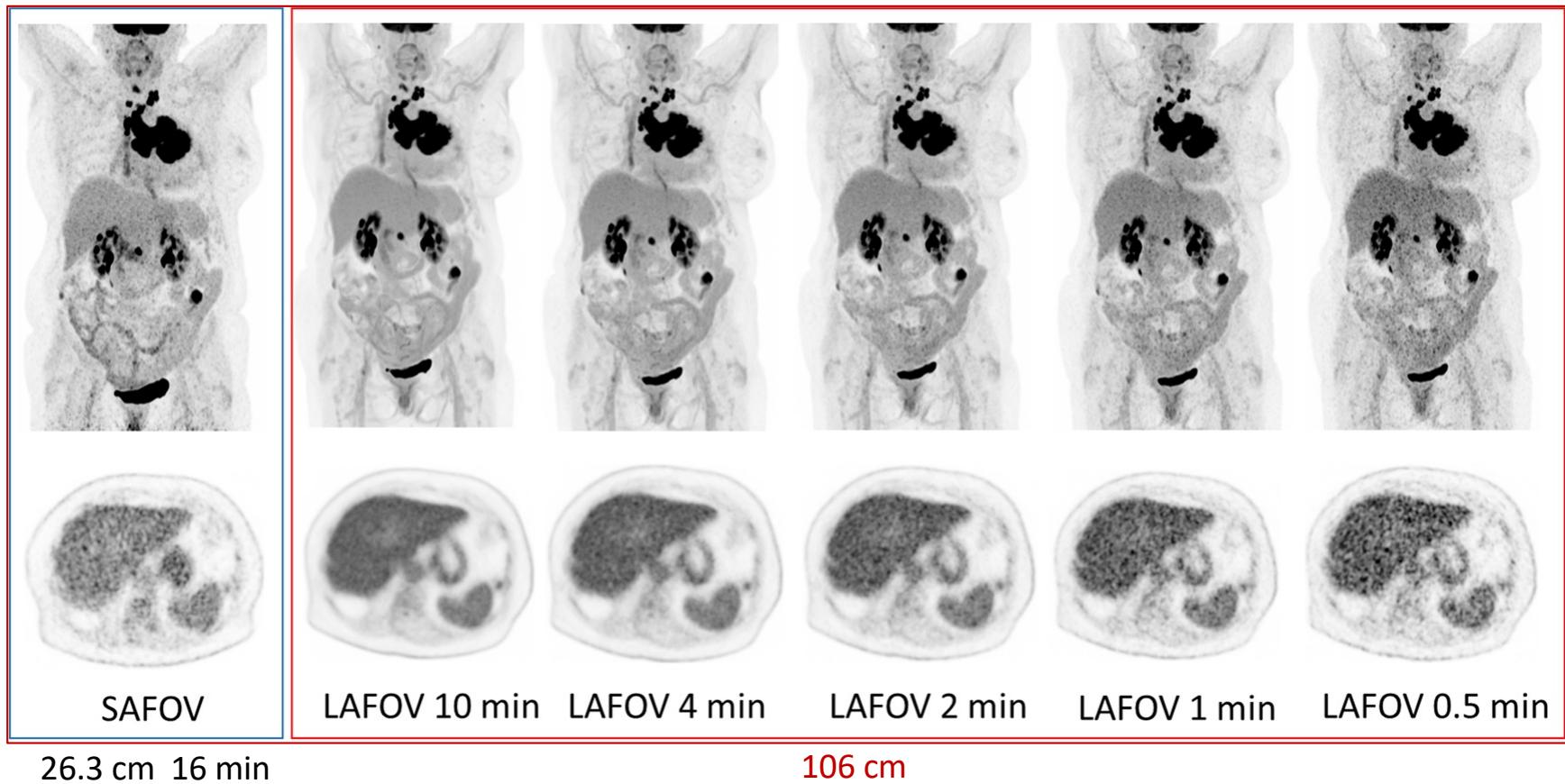
Coincidence window: 4.7 ns

Energy window: 435-585 keV

Scatter fraction: 37 %

Peak NEC: 3.0 Mcps @ 27.5 kBq/mL (NU 2-2018)

GA Prenosil *et al.*, JNM 2021



| Alberts *et al.*, EJNMMI 2021

Réseau de discussion TEP-France

- David Brasse, CNRS, IPHC
- Sébastien Jan, CEA, BioMaps
- Christian Morel, amU, CPPM
- Simon Stute, Inserm, Nantes
- Marc-Antoine Verdier, UPC, IJCLab
- Dimitris Visvikis, Inserm, LaTIM
- Dominique Yvon, CEA, Irfu

Première réunion par Zoom le 26 février 2025

- Etat de situation de la R&D en TEP en France
 - ClearMind/AAIMME (Irfu, D2MS, Biomaps, IJCLab, Inria, CPPM)
 - Liquido (IJCLab, IPHC, ...)
 - XEMIS (Subatech, Inserm)
 - MAPSSIC (IJCLab, CPPM, IPHC, CERMEP)
 - CASToR (LaTIM, BioMaps, Inserm-Nantes, CHU-Bordeaux)
- Quelques points de discussion
 - Thalès lance un projet de développement RX+US avec SuperSonic Imagine et BioMaps
 - Comment renforcer la R&D en TEP par rapport au monde de l'IRM
 - Faut-il cibler le cerveau ?
 - Faut-il poursuivre les projets de R&D amont en ordre dispersé ou plutôt se regrouper autour de l'intégration de technologies sur étagère pour construire un prototype de recherche ?
 - Préparation d'une feuille de route