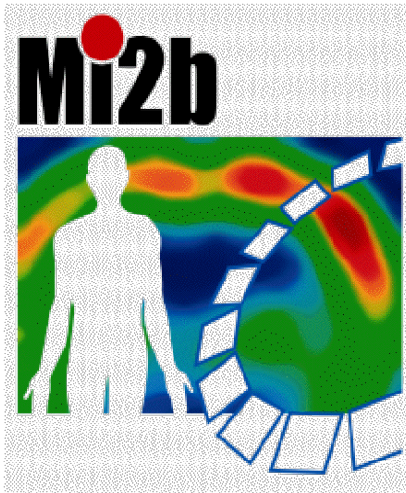




Groupement  
de recherche

**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

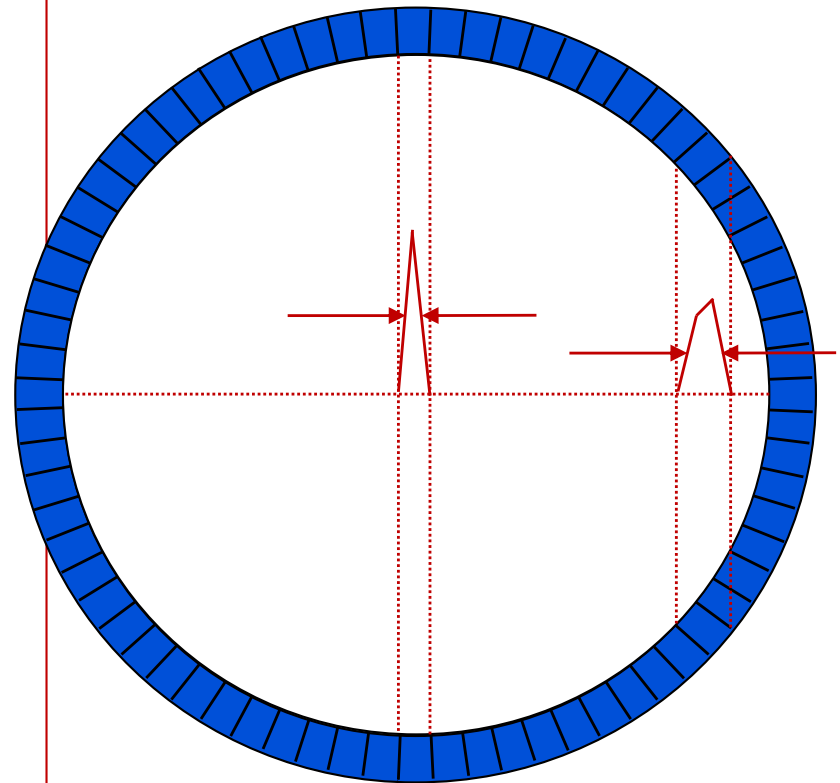
$w$ : longueur du pixel

$D$ : 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)

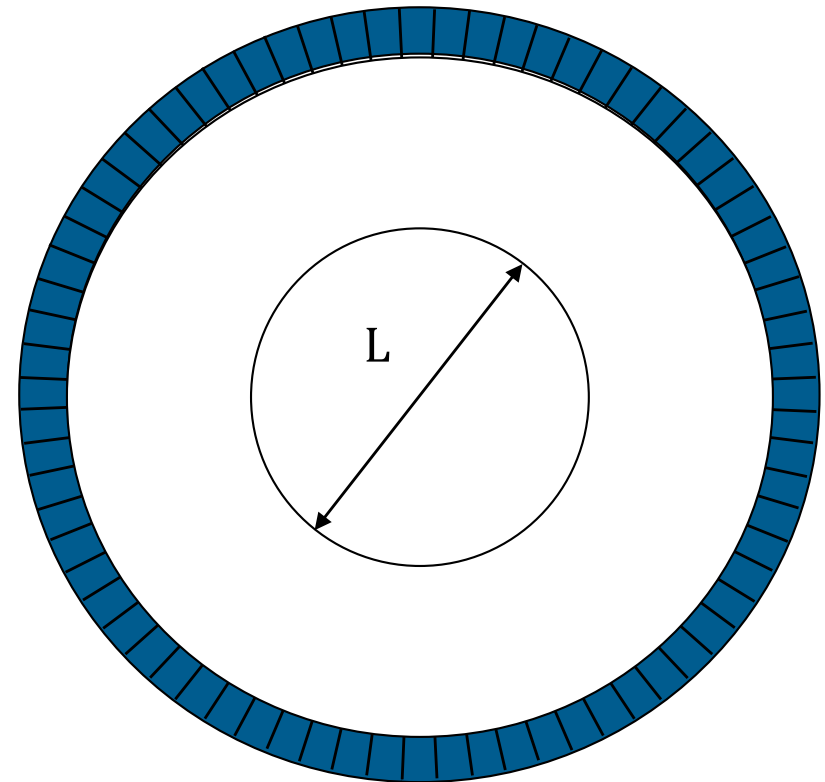


# SNR et statistique de comptage

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

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

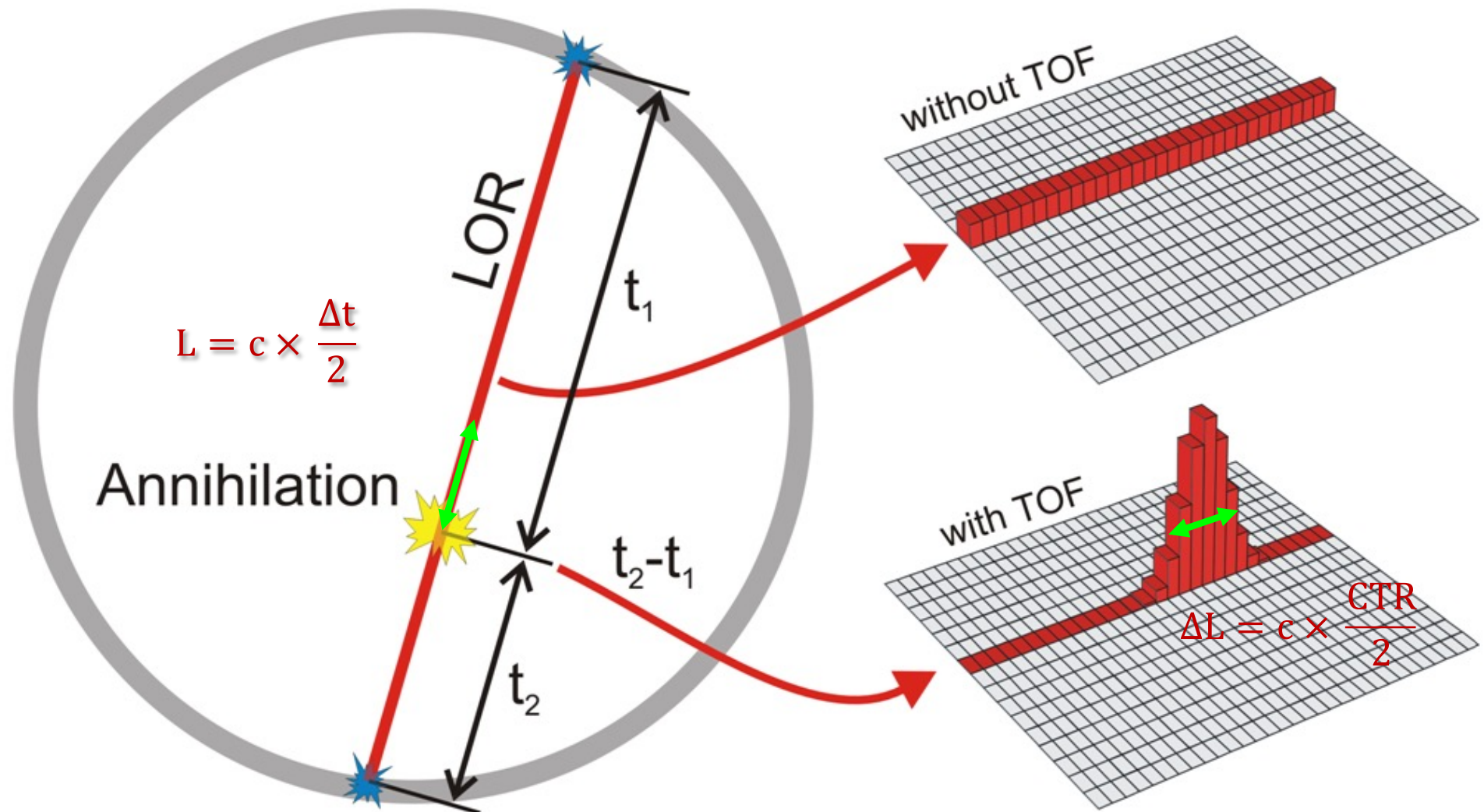
$$N_{\text{evt}} = \left(\frac{L}{d}\right)^3 \times \text{SNR}^2 \times \left(\frac{L}{d}\right)$$



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

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

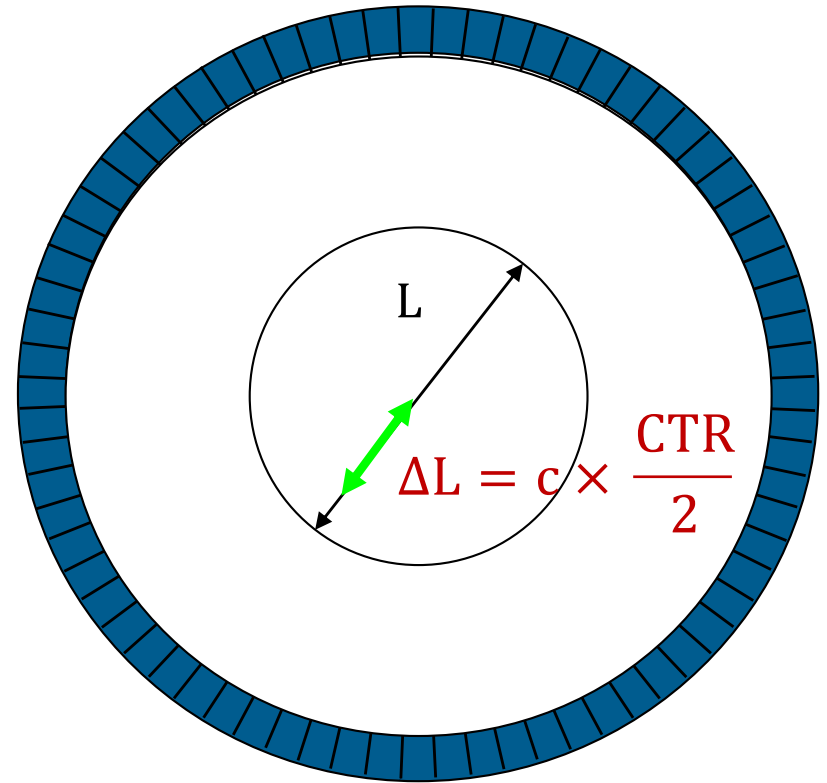
# TEP à temps-de-vol (TOF-PET)



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

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

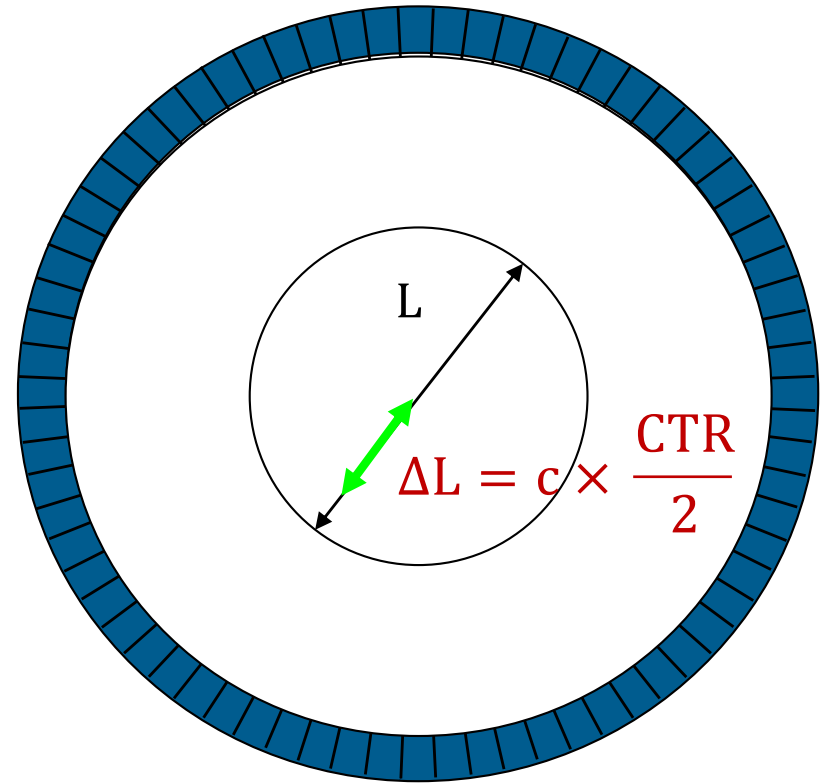
$$N_{\text{TOF}} = \left(\frac{L}{d}\right)^3 \times \text{SNR}^2 \times \left(\frac{\Delta L}{d}\right)$$



# 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

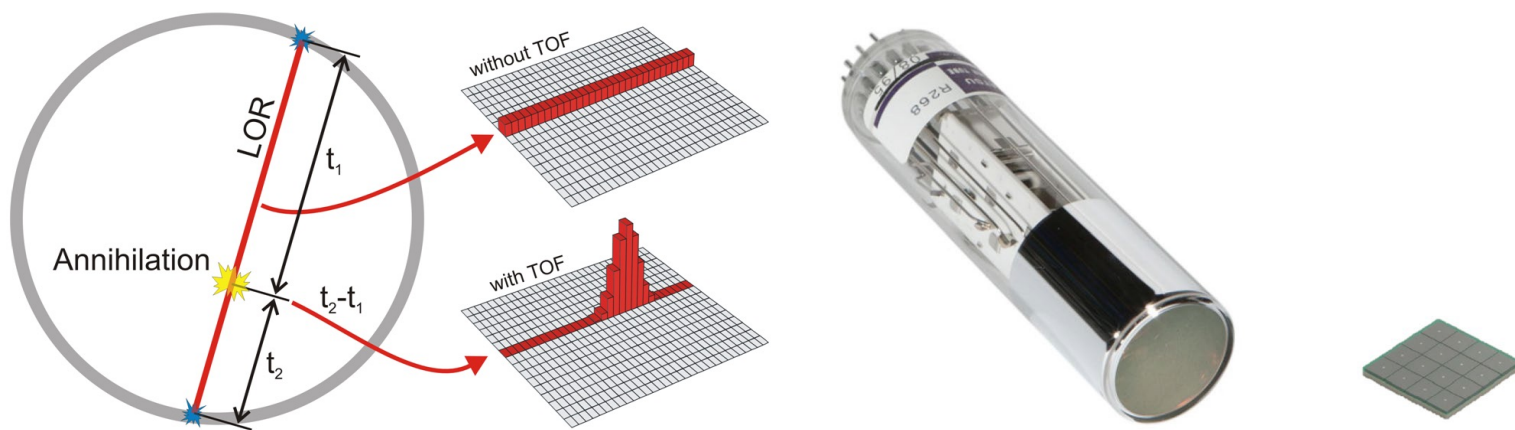
$$\left(\frac{\text{SNR}_{\text{TOF}}}{\text{SNR}_{\text{nonTOF}}}\right)^2 = \frac{2L}{c \times \text{CTR}}$$

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

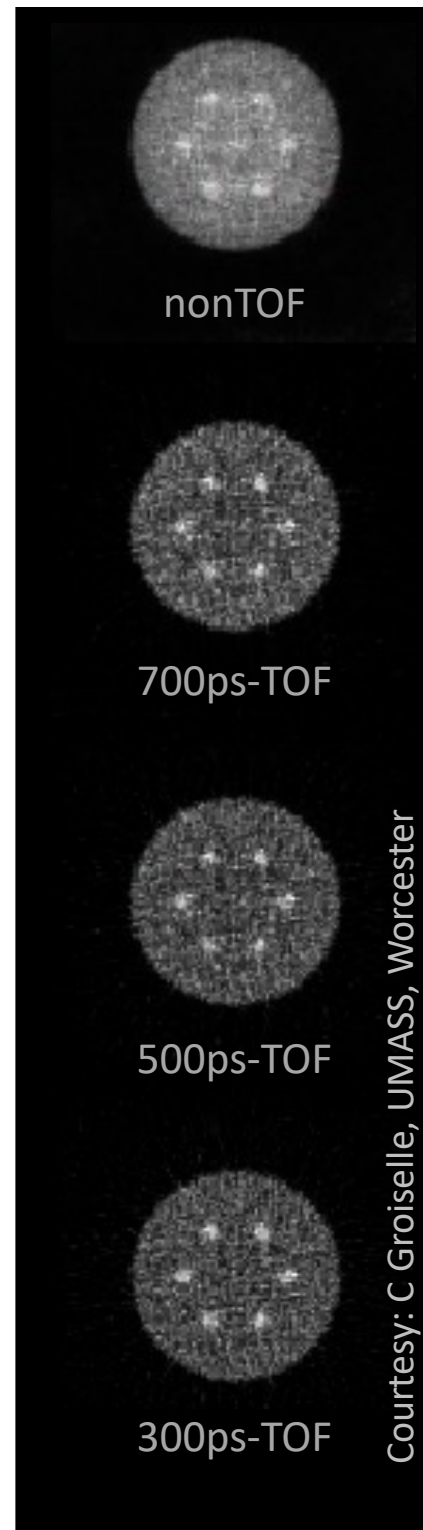
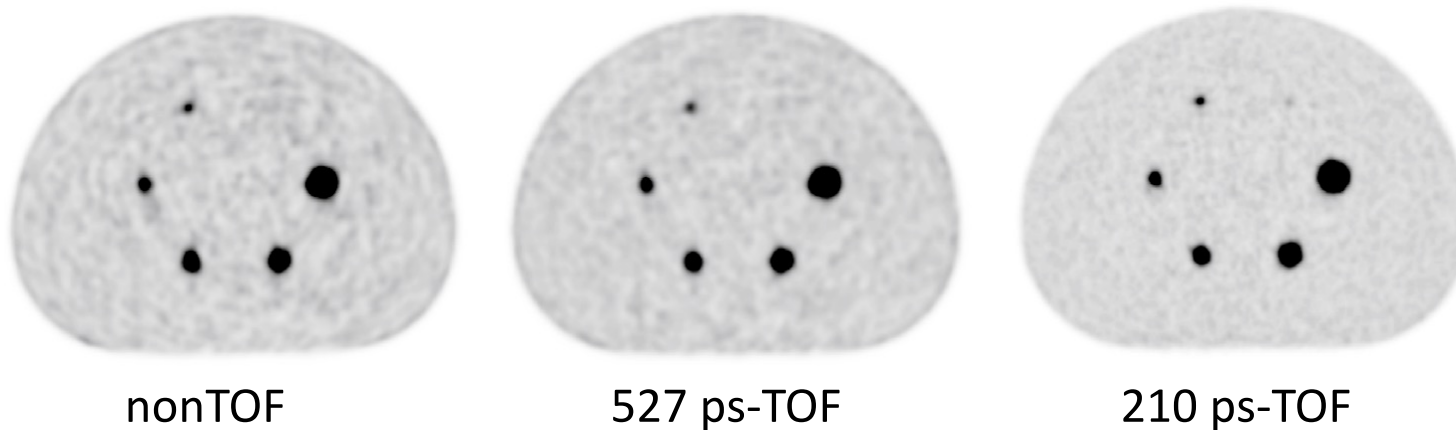
$$\frac{N_{\text{TOF}}}{N_{\text{nonTOF}}} = \frac{c \times \text{CTR}}{2L}$$



# Time-Of-Flight (TOF)-PET



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





## Topical Review

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

Paul Lecoq<sup>1</sup> , Christian Morel<sup>2</sup> , John O Prior<sup>3</sup> , Dimitris Visvikis<sup>4</sup> , Stefan Gundacker<sup>1,5</sup> ,  
Etienne Auffray<sup>1</sup> , Peter Križan<sup>6</sup> , Rosana Martinez Turtos<sup>1,21</sup> , Dominique Thers<sup>7</sup> ,  
Edoardo Charbon<sup>8</sup> , Joao Varela<sup>9</sup> , Christophe de La Taille<sup>10</sup> , Angelo Rivetti<sup>11</sup> ,  
Dominique Breton<sup>12</sup> , Jean-François Pratte<sup>13</sup> , Johan Nuyts<sup>14</sup> , Suleman Surti<sup>15</sup> ,  
Stefaan Vandenbergh<sup>16</sup> , Paul Marsden<sup>17</sup> , Katia Parodi<sup>18</sup> , Jose Maria Benlloch<sup>19</sup>   
and Mathieu Benoit<sup>20</sup> 

<sup>1</sup> CERN, department EP, Geneva, Switzerland

<sup>2</sup> Aix-Marseille Univ, CNRS/IN2P3, CPPM, Marseille, France

<sup>3</sup> Department of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, CHUV, Lausanne, Switzerland

<sup>4</sup> LaTIM, INSERM, UMR 1101, University of Brest, Brest, France

<sup>5</sup> UniMiB, Milano, Italy

<sup>6</sup> Faculty of mathematics and physics, University of Ljubljana, and J. Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

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

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

<sup>9</sup> LIP, University of Lisbon, Lisbon, Portugal

<sup>10</sup> Ecole Polytechnique, CNRS/IN2P3, Omega, Palaiseau, France

<sup>11</sup> INFN, Torino, Italy

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

<sup>13</sup> Interdisciplinary Institute for Technological Innovation – 3IT, Université de Sherbrooke, Canada

<sup>14</sup> KU Leuven, Belgium

<sup>15</sup> University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, United States of America

<sup>16</sup> University of Ghent, Belgium

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

<sup>18</sup> Ludwig-Maximilians-Universität München, Department of Experimental Physics – Medical Physics, Munich, Germany

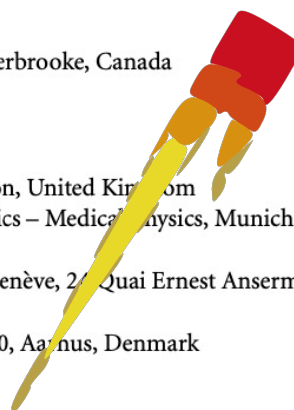
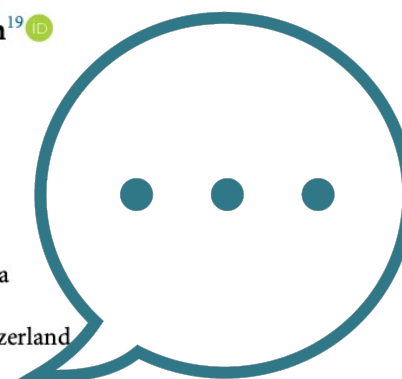
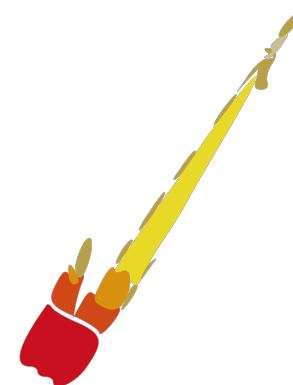
<sup>19</sup> UPV, Valencia, Spain

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

<sup>21</sup> Institute of Physics and Astronomy, Aarhus University, 120 Ny Munkegade, 8000, Aarhus, Denmark

E-mail: [paul.lecoq@cern.ch](mailto:paul.lecoq@cern.ch) and [morel@cppm.in2p3.fr](mailto: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 mm<sup>3</sup>

# of crystals: 243,200

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

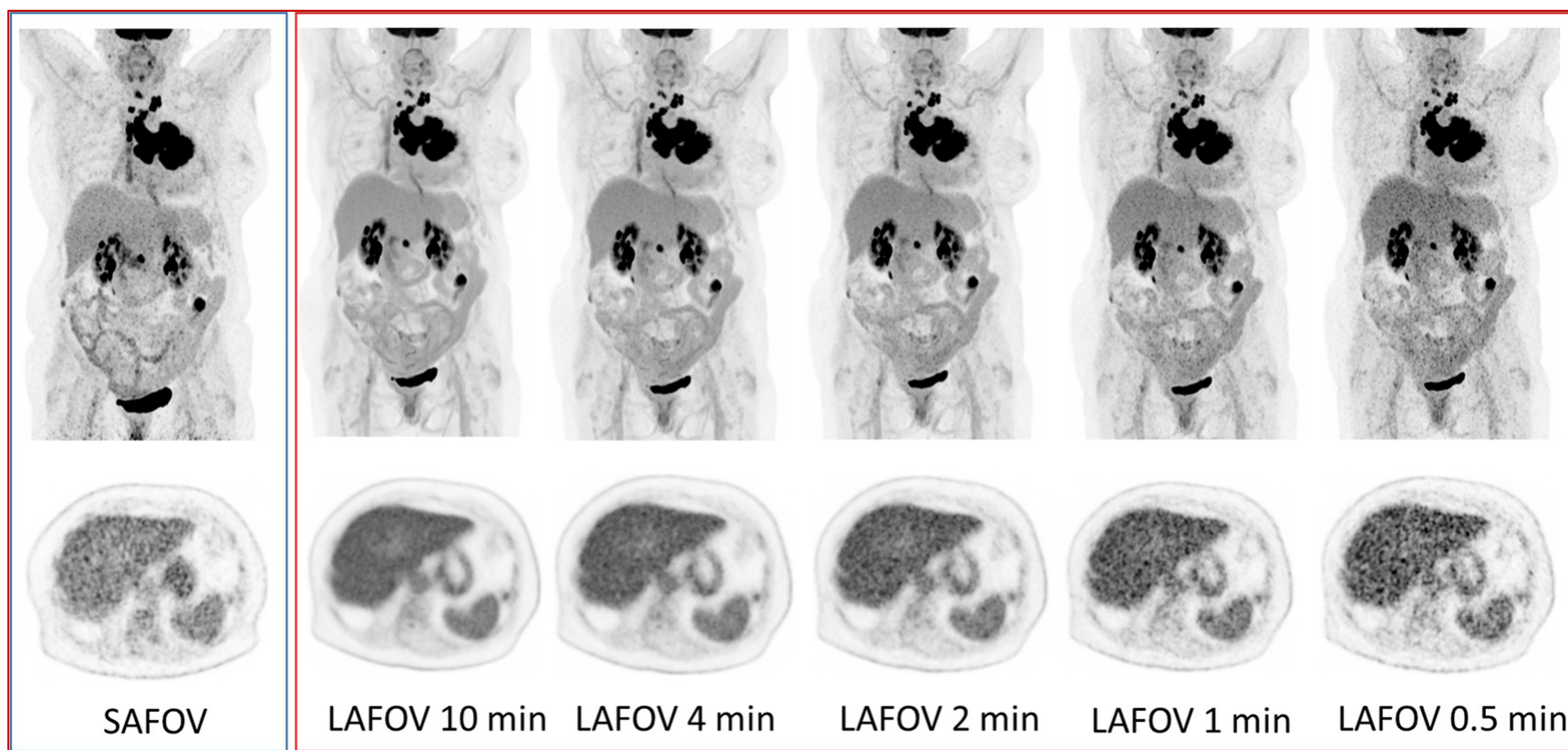
Coincidence window: 4.7 ns

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



26.3 cm 16 min

106 cm

## 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