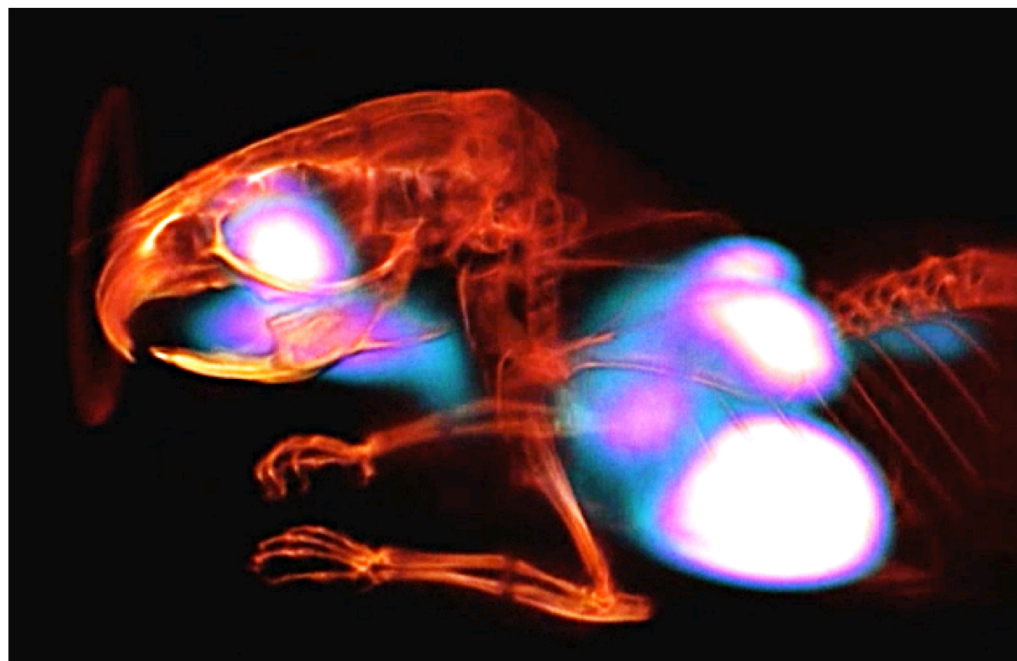




Equipe



imXgam – imagerie X et gamma



- GDR Modélisation et Instrumentation pour l'Imagerie Biomédicale



- Centre Européen de Recherche en Imagerie Médicale



- Institut d'Imagerie pour la Biologie et la Médecine de Marseille

Pixels hybrides

- PIXSCAN(-FLI) (IN2P3, FLI, Cancéropôle, FLI-WP4, CNRS MITI) <- PC-CT/CT spectral
- ClearPET/XPAD (ANR, FLI-WP4) <- TEP/CT simultané

Sondes beta⁺ multipixels

- MAPSSIC (IN2P3, MITI CNRS, FLI-WP2) <- sonde IC

Simulation Monte Carlo

- TEMPORAL (PIA ANDRA) <- modélisation SiPM dans GATE
- ClearMind (ANR) <- modélisation MCP-PM dans GATE

Acquisition de données μ TCA

- CLaRyS (IN2P3) <- CC pour l'hadronthérapie
- TEMPORAL (PIA ANDRA) <- CC pour le démantèlement nucléaire
- CLaRyS-UFT (PhysiCancer) <- Détecteur diamant et CC pour l'hadronthérapie

Infrastructure

- tomXgam (PACA, Cancéropôle) -> banc test pour l'expérimentation tomographique

Composition de l'équipe + budget annuel

- **Liste des membres de l'équipe :**

- **3 permanents**

- Christian MOREL, PR —responsable scientifique
 - Yannick BOURSIER, MCF
 - Mathieu DUPONT, IR-chercheur —coordinateur technique

- **1 post-doctant.e**

- Mr. X, (ClearMind, 24 mois, automne-20)

- **3 doctorant.e.s**

- **Cairo CAPLAN**, CLaRyS, CNRS/Région, C. Morel (dir), J.-P. Cachemiche (codir) (12.16-printemps 20)
 - **Brahim MEHADJI**, TEMPORAL, MESR, C. Morel (dir), M. Dupont (codir) (10.17-09.20)
 - **Laurie CAPPELLUGOLA**, ClearMind, C. Morel (dir), M. Dupont (codir) (10.19-09.22)

- **1 CDD ingénieur**

- **Julien LANGOUET**, (TEMPORAL, 10.19-09.20)

- **8 ITs**

- Jean-Pierre Cachemiche (CLaRyS) 5%
 - Fabrice Gensolen (MAPSSIC) 15%
 - Patrick Pangaud (TEMPORAL, MAPSSIC) 10%
 - Jean-Philippe Logier (CT-spectral, ClearMind) 10%
 - Patrick Breugnon (TEMPORAL) 30%
 - Kevin Arnaud (TEMPORAL) 50%
 - Jules Caffin (TEMPORAL) 50% (apprenti IR)
 - Mathieu Niclas (ClearMind) 10%

- **Budget annuel de soutien de base de l'équipe :**

- Budget Annuel Soutien Equipe (hors budget projets): 15 k€
 - Demande 2020 : 5 k€ en fonctionnement/petits équipements, 10 k€ en missions (hors projet)

Collaborations/Responsabilités

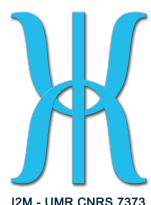
- **Coopérations/collaborations principales avec l'extérieur (avec équipes locales, nationales, internationales) :**
 - Collaboration Crystal Clear
 - Collaboration OpenGATE
 - CLaRyS (LPSC, IPNL, CPPM, Créatis)
 - MAPSSIC (IPHC, IMNC, CPPM)
 - TEMPORAL (Damavan, UTT, CPPM, Weeroc)
 - ClearMind (IRFU, LAL, CPPM)
- **Participations à l'enseignement, à la communication, à la vulgarisation :**
 - Fêtes de la science
 - 13 minutes
- **Responsabilités hors projets (laboratoire, université, sites, comités, etc.) :**
 - COMEX CERIMED (C. Morel)
 - G4 Oversight board (C. Morel)
 - OpenGATE SC (M. Dupont)
 - Crystal Clear SC (C. Morel)
- **Organisations d'écoles, de workshops, conférences, etc. :**
 - SCINT Summer School 2018 (M. Dupont, C. Morel)
 - Formation CNRS « Python data analysis for GATE simulations » 2019 (M. Dupont)

PC-CT/CT spectral



➤ Suivi de la croissance de tumeurs du foie et de leur réponse au traitement chez la souris

- L. Portal *et al.* (2018) *EMIM*, Mar 20-23, San Sebastian
- Thèse: Loriane PORTAL (2014-2018)
- Cassol, Portal *et al.* (2019) Tracking dynamics of spontaneous tumours in mice using Photon Counting Computed Tomography. *iScience* **21**: 68-83



➤ Décomposition en matériaux de base par des méthodes proximales à métrique variable

- S. Tairi *et al.* (2018) *CT Meeting*, May 20-23, Salt Lake City
- Thèse: Souhil TAIRI (2015-2019)
- S. Tairi *et al.* (2019) ProMeSCT: a proximal metric algorithm for spectral CT. *subm. to IEEE TRMPS*



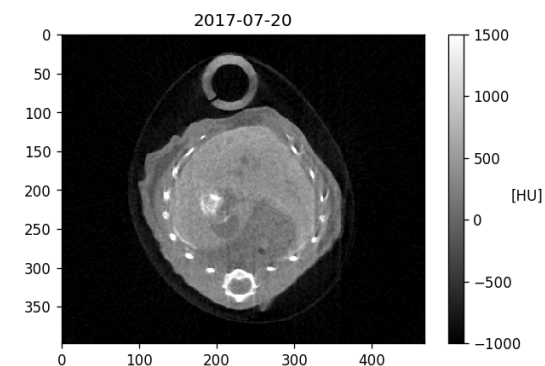
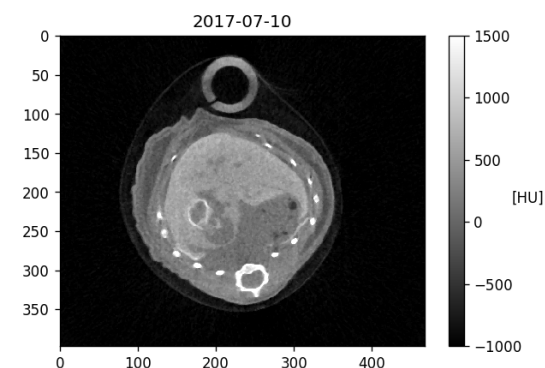
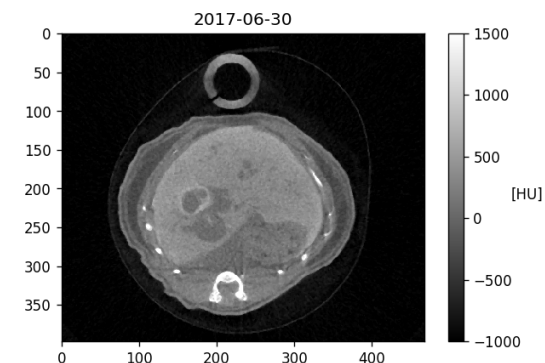
➤ Nouvelles méthodes de traitement de données pour la tomodensitométrie spectrale dans le contexte préclinique

- CNRS MI 2018 (10 k€)

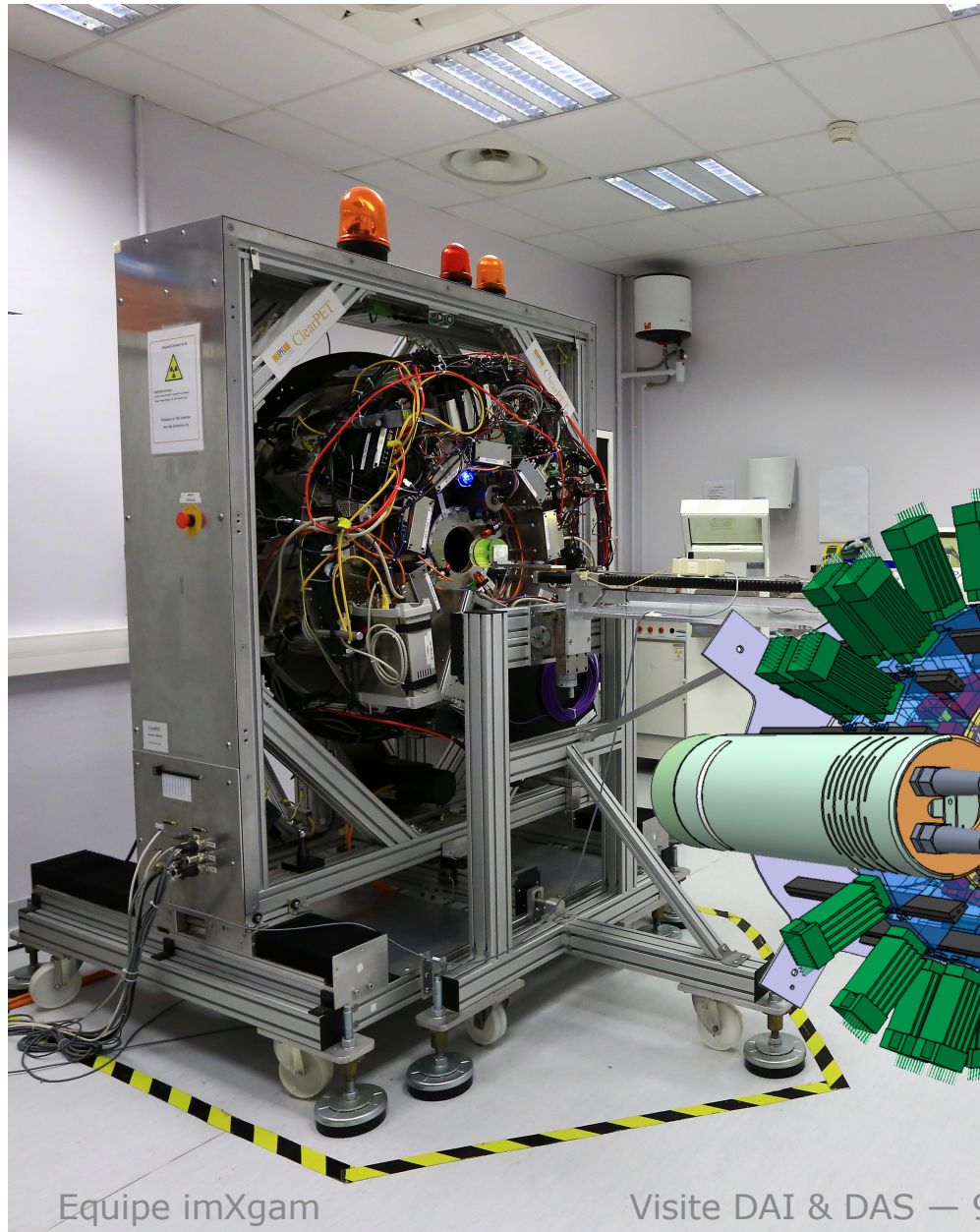


➤ Décomposition en matériaux de base avec des méthodes d'apprentissage machine

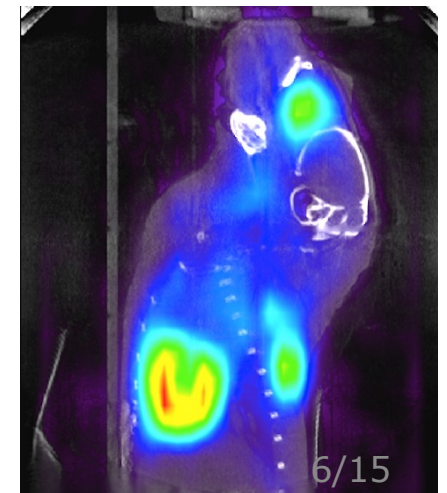
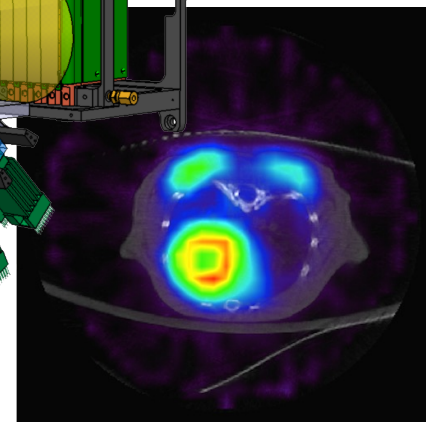
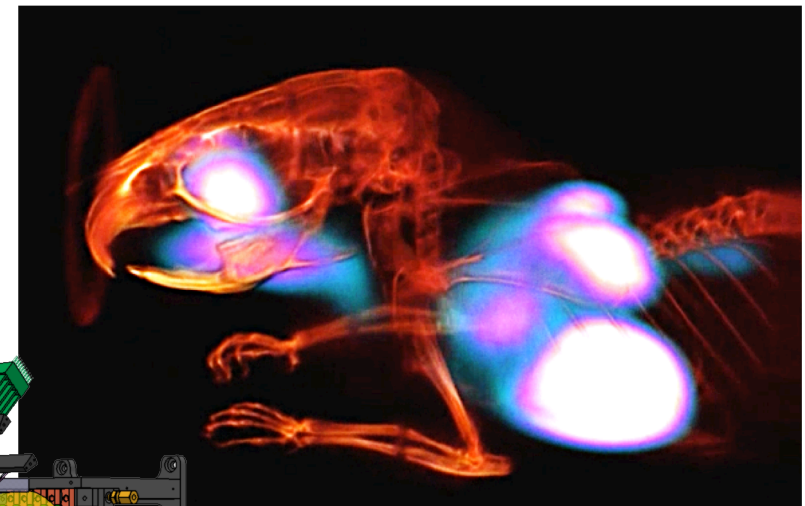
- WP4 FLI (6,5 k€)



TEP/CT simultané



- Correction des mouvements
 - WP4 FLI (4 k )

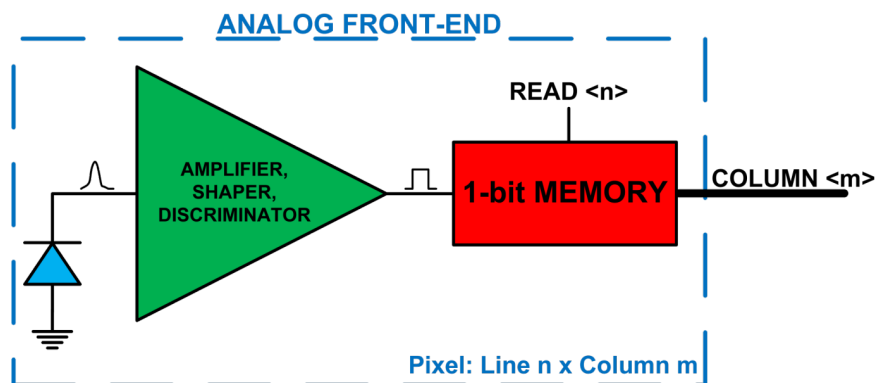
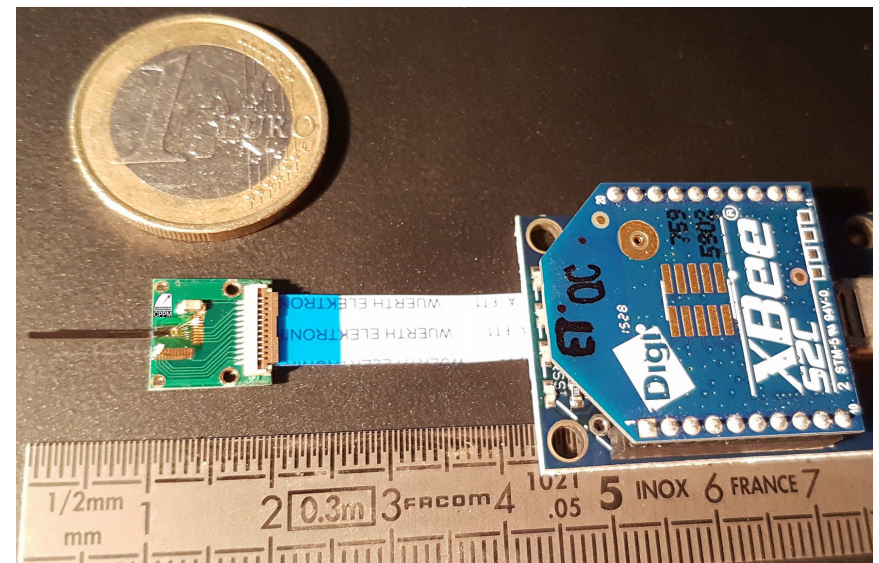


M Hamonet et al., Proc. IEEE NSS/MIC 2015

Sonde beta⁺ intracrânienne

Sondes beta ⁺ intracrâniennes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PIXSIC (ANR 2009-2013) Si/PICPUS - IMNC/CERMEP/CNPS		étude et développement postdoc Julia Maerk	fin							
MAPSSIC (PIA FLI 2016-2018/ CNRS MI 2017) APS IMIC / HVCMOS - IMNC/IPHC/CERMEP/CNPS						DAQ WiFi alternance IR Matthieu Bautista				

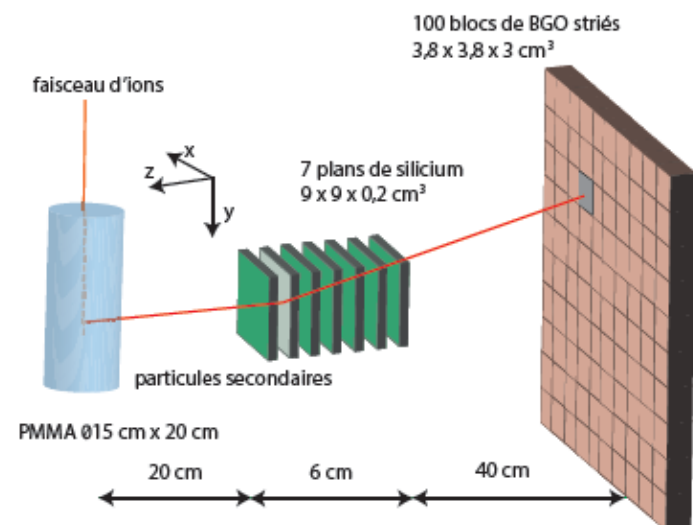
- 0.61 x 12 x 0.25 mm³ implantable needle consisting of 16 x 128 pixels 30 x 50 μm²
- Based on a FE amplifier of ALPIDE (**AL**ice **PI**xel **D**etector)
- Low power (55 nW/pixel)
- Asynchronous operation
- Memorization (on 1 bit)
- Rolling shutter readout of columns in parallel
- Complete matrix readout in 128 μs
- Typical bandwidth: few kbits/s
- ¹⁸F sensitivity (simulated) 0.8 cps/(Bq/mm³)



- Assemblage, test et caractérisation des sondes
- Interface homme-machine

Caméra Compton (hadronthérapie)

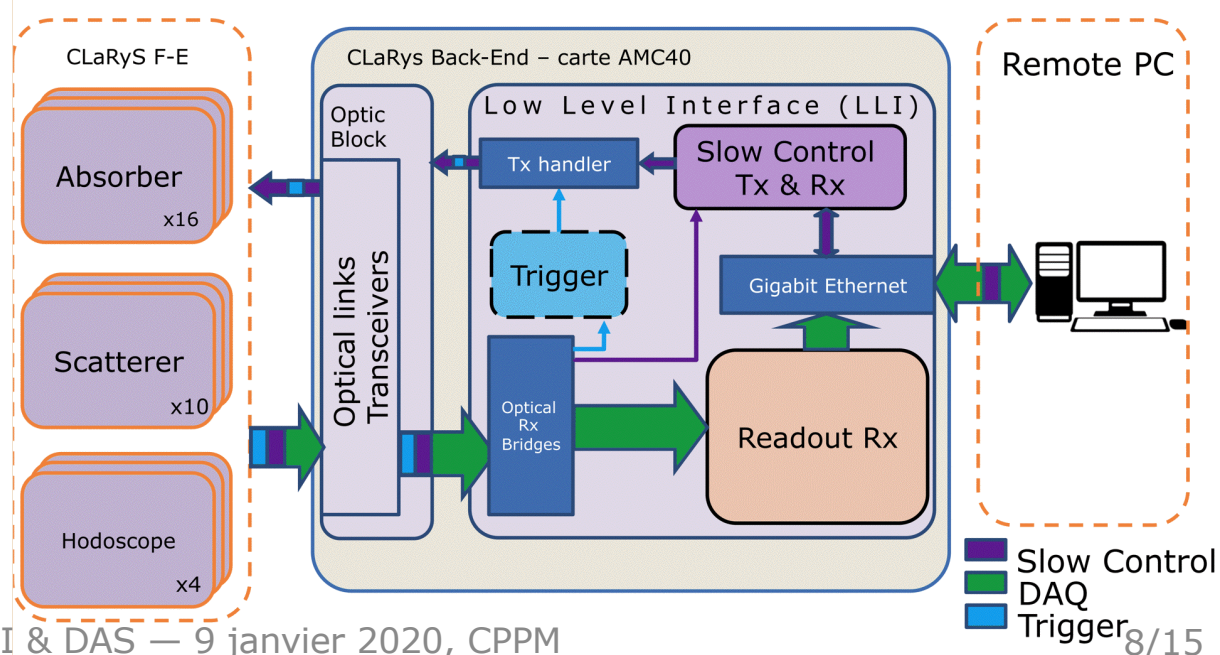
Caméra Compton	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENVISION / ENTERTVISION (FP7 2010-2014 / ITN Marie Curie 2011-2015)		étude et développement carte AMC40	postdoc Carlos Abellan Beteta							
CLaRyS (CNRS MI 2015-2016) hadronthérapie - IPNL/LPC/LPSC				développement LLI AMC40 altern. IR Marta Rodo Bordera		développement DAQ μ TCA thèse Cairo PimentaCheble Caplan				



Thèse: Cairo PIMENTA CHEBLE CAPLAN (2016-printemps 2020)

- Interface F-E hodoscope/AMC40 (fluence > 10^{13} ions/cm²)
- Test hodoscope ligne basse énergie au CAL (18 déc. 2017)
- Design du trigger
- Développement émulateur
- Injection données MC (100 Go/s avec faisceau clinique)
- Interface FE diffuseur/AMC40
- Interface FE absorbeur/ AMC40

- Intensité faisceau: 1×10^8 p/s
- Flux pre-trigger: 13,3 Mbits/s
- Flux trigger: 3,1 Mbits/s
- Taux de coïncidences: 9 MHz
- Flux absorbeur: 873 Mbits/s
- Flux diffuseur: 1,2-8,2 Gbits/s
- Flux hodoscope: 400 Mbits/s
- Flux vers PC: 100-300 Mbits/s



Caméra Compton (hadronthérapie)

Caméra Compton	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
CLaRyS-UFT (PhysiCancer 2018-2020) hadronthérapie (CC temporal / diamant) - LPSC/IPNL/CREATIS								développement DAQ μ TCA CDD IR Marta Rodo Bordera		

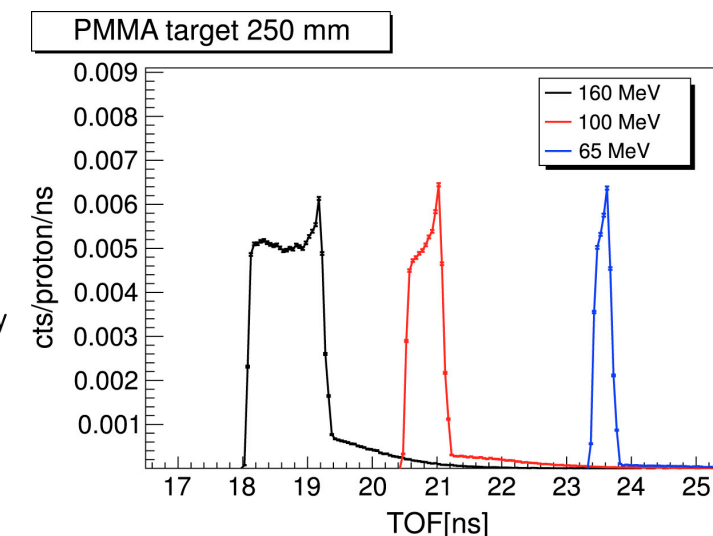
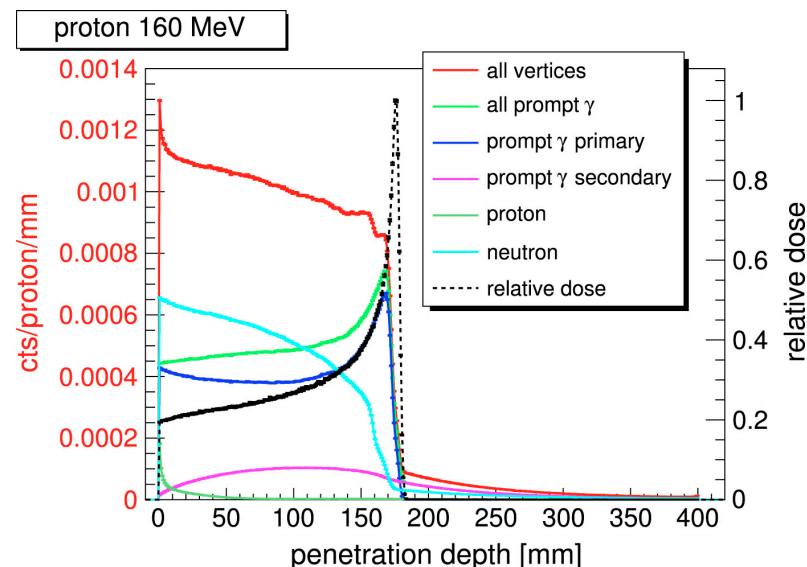
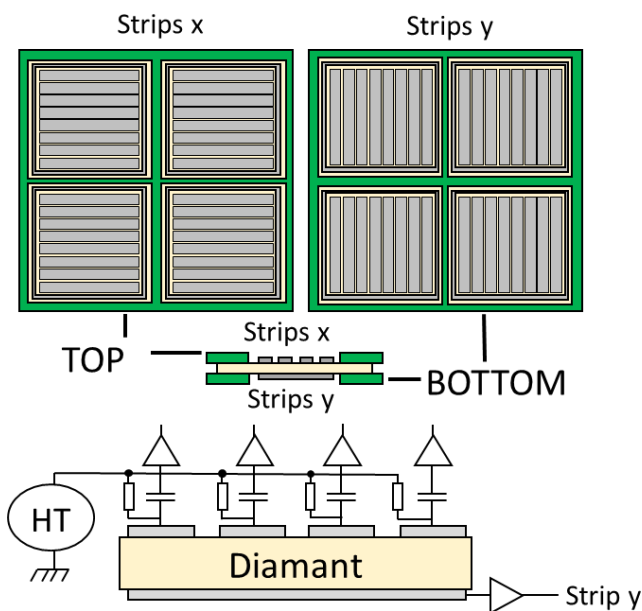
Hodoscope à fibres
scintillantes/MaPMT

- $< 10^7$ cps/MaPMT
- 500 ps – 1 ns rms



Hodoscope à
détecteurs diamants

- Radhard
- 100 ps rms



Caméra Compton +



- Simulation du module optique (dSiPM)
- Interfaçage carte FE hodoscope – AMC40

J. Krimmer *et al.* NIMA 878 (2017) 58-73

Caméra Compton (nuclear waste)

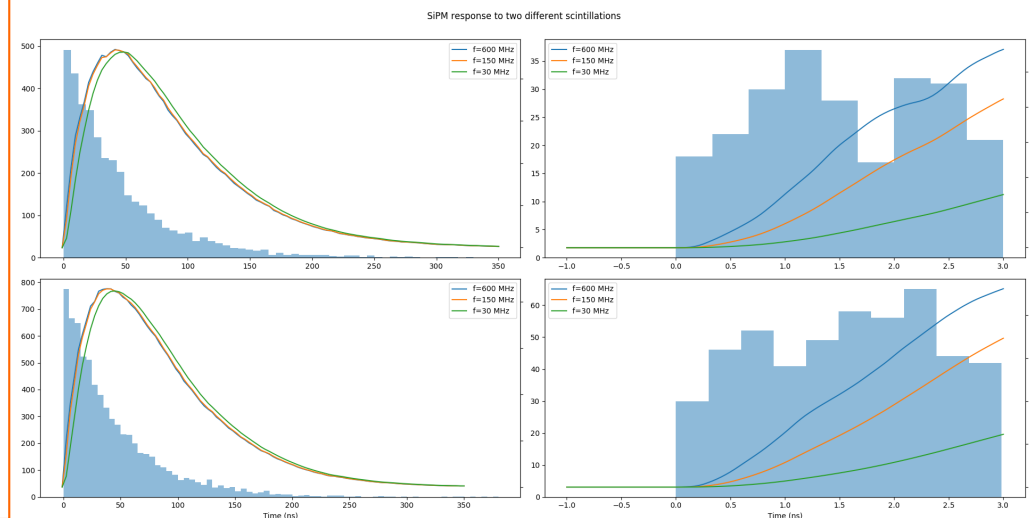
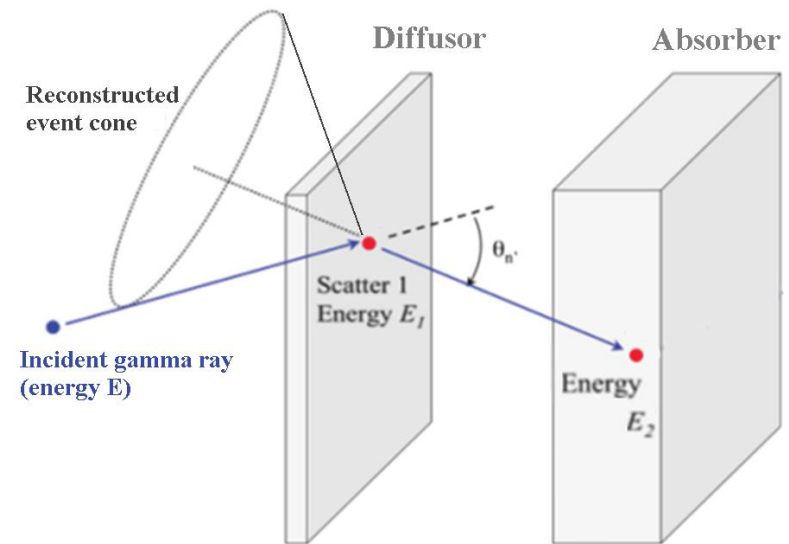
Caméra Compton	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
TEMPORAL (ANDRA 2016-2019) démantèlement nucléaire - Damavan/UTT/Weeroc/Mirion					design et construction carte SiPM/PetiROC / modélisation GATE CDD IR Marta Rodo Bordera / thèse Brahim Mehadji					



- Développement d'une carte d'acquisition front-end pour la lecture de SiPM avec l'ASIC PetiROC reliée à une carte μ TCA AMC40

Thèse: Brahim MEHADJI (2017- fin 2020)

- Développement d'un modèle du détecteur à scintillation TEMPORAL dans GATE
 - M. Dupont *et al.*, ICASiPM 2018, Schwetzingen (poster)
 - M. Dupont *et al.* NSS/MIC 2018, Sydney (oral)
 - B. Mehadji *et al.* (2020) Implementation and experimental validation of a model of SiPM in GATE, to be subm. to *IEEE TRMPS*
- Reconstruction d'images (ML-MLEM)
 - B. Mehadji *et al.* Extension of the List-Mode MLEM algorithm for poly-energetic imaging with a Compton camera (2018) Proc. NSS/MIC 2018

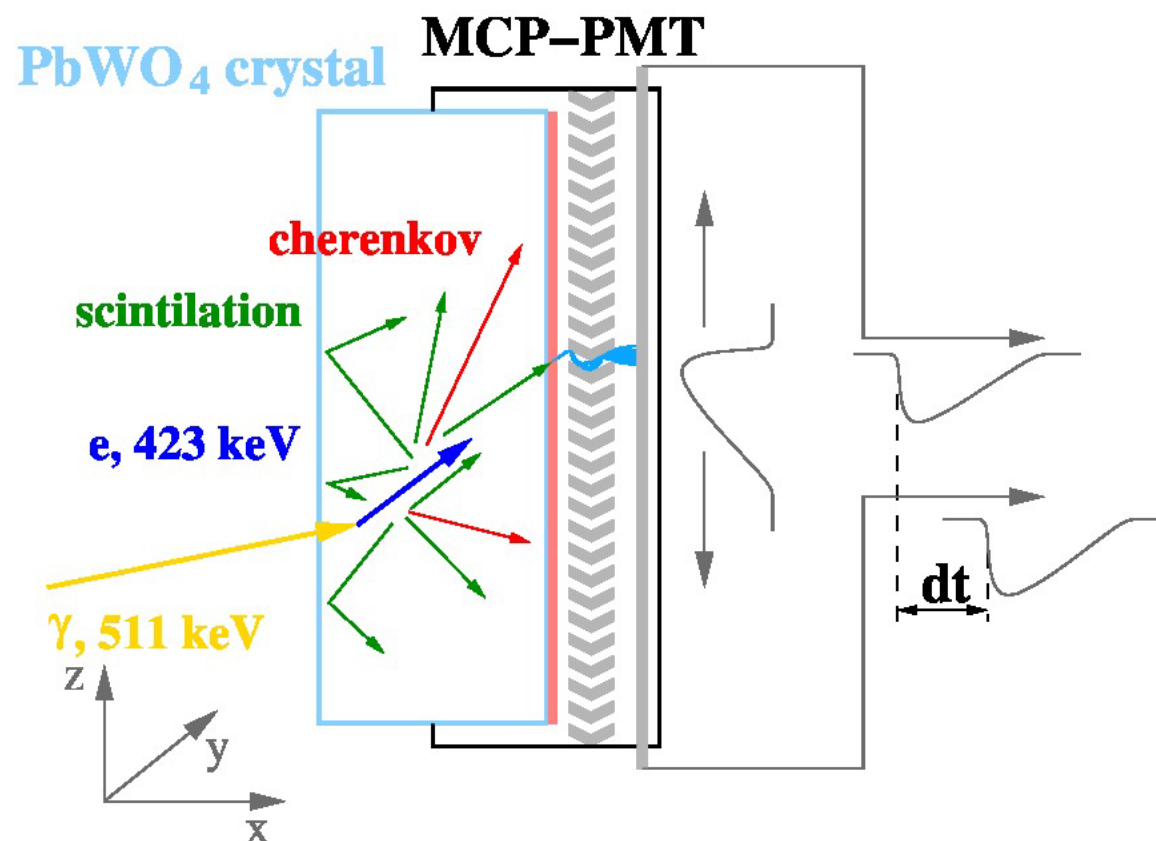


TEP temps-de-vol (TOF-PET)

TEP temps-de-vol (TOF-PET)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
tomXgam (PACA 2009-2013) banc mécanique pour l'expérimentation tomographique		étude	intégration stage L3 pro Matthieu Bautista			livraison CERIMED				
ClearMind (ANR 2019-2021 ?) Cerenkov PbWO ₄ - IRFU/LAL								modélisation GATE et caractérisation preuve de concept sur tomXgam		

Développement d'un cristal « **scintronique** » pour les applications d'imagerie ultra-rapide de rayons gamma

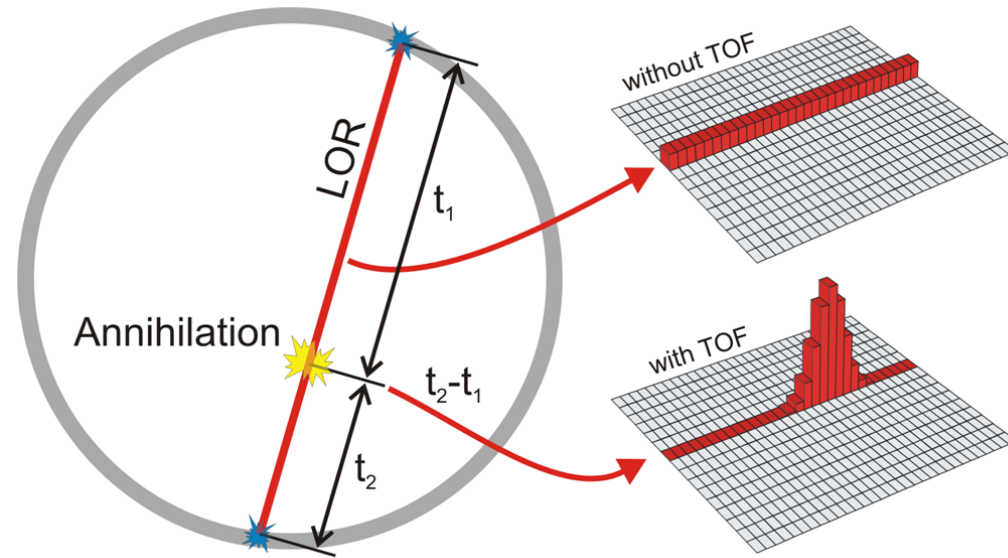
- Détection des photons Cerenkov émis dans le PbWO₄:Y
- Dépôt d'une photocathode ($n \sim 2,7$) par évaporation directement sur la surface du cristal ($n \sim 2,3$)
- Amélioration de l'efficacité de collection optique sur la photocathode (**x4**)
- Encapsulation dans un tube multiplicateur à galette de micro-canaux (MCP-MT)
- CRT **~ 20 ps FWHM** (hors MCP-MT)
- Simulation / validation sur tomXgam



Thèse: Laurie CAPPELLUGOLA (2019 – 2022)

TEP temps-de-vol (TOF-PET)

- The 10 ps challenge
- <https://the10ps-challenge.org/>



$$\Delta L = \frac{1}{2} c \Delta t$$

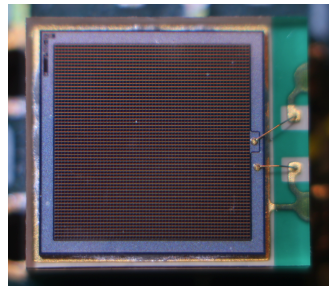
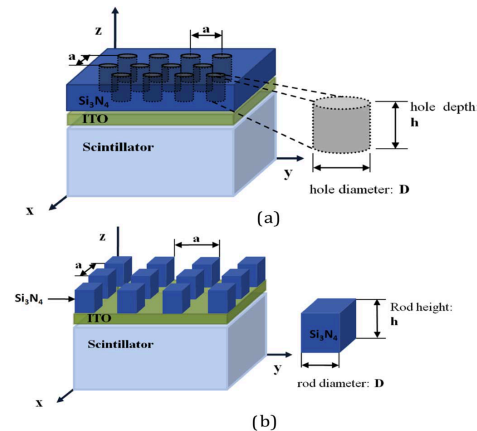
$$9 \text{ cm} = \frac{1}{2} c \times 600 \text{ ps}$$

$$3.6 \text{ cm} = \frac{1}{2} c \times 240 \text{ ps}$$

$$1,5 \text{ mm} = \frac{1}{2} c \times 10 \text{ ps}$$

CRT $\sim 70\text{-}80$ ps FWHM
TOF-PET ~ 240 ps FWHM

$$CRT \propto \sqrt{\frac{\tau_r \tau_d}{N_{pe}}} \xrightarrow{\tau_r \div 10} \sqrt{\tau_r}$$



P Lecoq, IEEE TRPMS 1 (2017) 473-485

P. Lecoq, C. Morel *et al.* Roadmap toward the 10 ps time-of-flight PET challenge (2019)
subm. to *Phys. Med. Biol.*

No TOF

700 ps

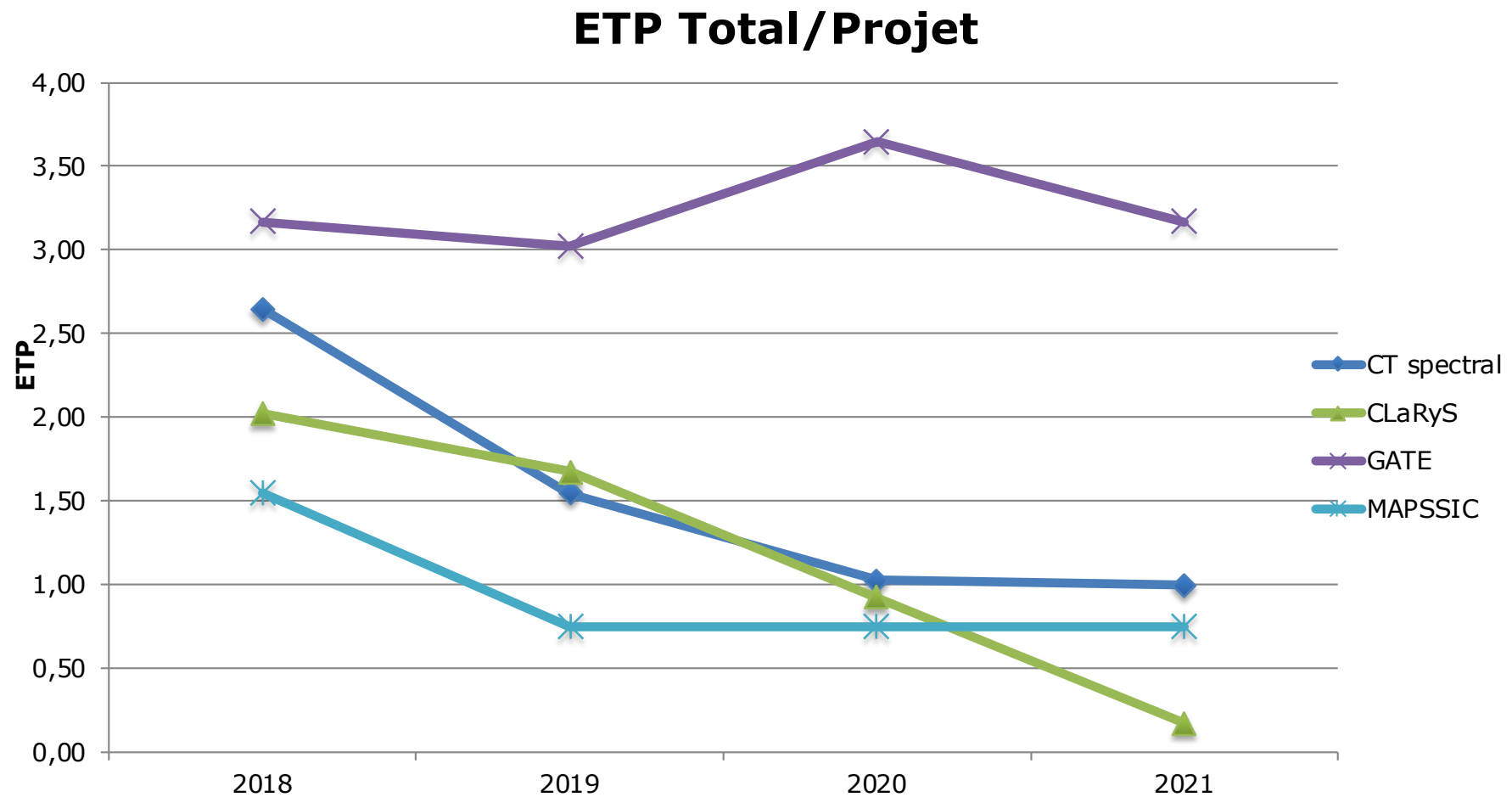
500 ps

300 ps

Feuille de route des projets

									Master projets
Pixels hybrides	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
CleaPET/XPAD (WP4 PIA FLI 2018-2021) (TEP/CT simultané) - CHU Bordeaux			analyse Yannick Boursier (FLI WP4)		publication				CT spectral
PIXSCAN-FLI (PIA FLI 2013-2016, WP4 PIA FLI 2018-2021) (CT spectral) - I2M/Créatis		exploitation - thèses Loriane Portal et Souhil Tairi	transfert CERIMED	algorithmes CT spectral Yannick Boursier (FLI WP4)					
Sonde beta+	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
MAPSSIC (PIA FLI 2016-2018/ CNRS MI 2017) (Sonde IC, APS IMIC / HVCMOS) - IMNC/IPHC/CERMEP/CNPS		DAQ WiFi alternance IR Matthieu Bautista							MAPPSSIC
Caméras gamma	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
TEMPORAL (ANDRA 2016-2020) (CC nuclear waste) - Damavan/UTT/Weeroc/Mirion			modélisation GATE thèse Brahim Mehadji design et construction carte SiPM/PetiROC CDD IR Marta Rodo Bordera						GATE
ClearMIND (ANR 2020-2022 ?) (CC, TOF-PET, fast timing) - IRFU/LAL						modélisation GATE et caractérisation thèse Laurie Cappellugola			
DAQ μ TCA	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
CLaRyS (CNRS MI 2015-2016) (AMC40 μ TCA DAQ hadronthérapie) - IPNL/LPC/LPSC			développement DAQ μ TCA thèse Cairo Pimenta Cheble Calpan						CLaRyS
CLaRyS-UFT (PhysiCancer 2018-2020) (CC TEMPORAL/AMC40 hadronthérapie) - LPSC/IPNL/CREATIS			développement DAQ CDD IR Marta Rodo Bordera						

Plan de charge/projet



Prospective 2020–2024

- Expertise et savoir faire à conserver et/ou à développer
 - Exploitation et modélisation de SiPM pour les applications fast timing
- Nouveaux projets en vue (inclus réponse aux calls ANR, EU, AO locaux...)
 - Prolongation TEMPORAL (12 mois), possible extension + financement suivant résultats
 - JCJC sur la simulation optique sur GPU pour les applications fast timing (M. Dupont ?)
 - Participation à l'organisation du défi 10 ps
- Evolution de la composition de l'équipe (départs/arrivées permanents, docs, post-docs...)
 - Départ 2 doctorants d'ici fin 2020
 - Demande CIFFRE en préparation 2020 (CT spectral)
 - Recrutement d'un post-doc (ClearMind, 24 mois)
- Embauches à prévoir d'ici 2024
 - 1 CR ou IR (PhD) en instrumentation