

Equipe Physique Nucléaire et Applications Médicales

Faits marquants 2015-2019
Projets 2020-2024

Composition actuelle de l'équipe

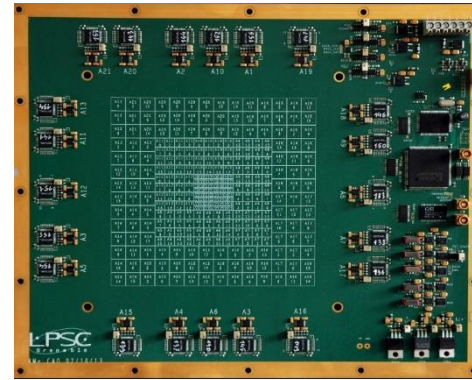
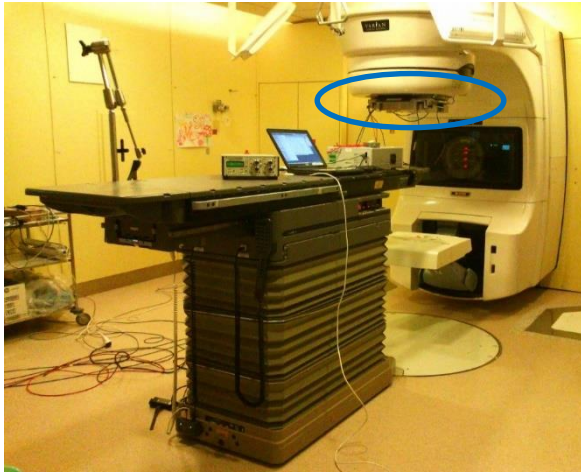
- 6 permanents :
 - Yannick **Arnoud** (MCF)
 - Rachel **Delorme** (CR)
 - Denis **Dauvergne** (DR) - responsable
 - Marie-Laure **Gallin-Martel** (CR HDR)
 - Olivier **Rossetto** (MCF HDR)
 - Gabriela **Thiamova** (MC HDR)
- 4 doctorants :
 - Sébastien **Curtoni** (Doc 2020) Dir ML Gallin-Martel
 - Nicolas **Rosuel** (Doc 2021) Dir STROBE JF Adam Co-direction D. Dauvergne
 - Alexandre **Portier** (Doc 2022) Dir ML Gallin-Martel Co-direction NEEL J. Pernot
 - Maxime **Jacquet** (Doc 2022) Dir D. Dauvergne et S. Marcatili
- 1 IR CDD :
 - Ludovic **Léau-Mercier** (SATT jusqu'en février 2020)
- + 2 personnes :
 - Sara **Marcatili** (Service Instrumentation)
 - Abderrahmane **Ghimouz** (Doc 2020 Electronique, Dir O. Rossetto)

Thèmes de recherche (2015-2019)

- **Contrôle en ligne de radiothérapies innovantes**
 - Radiothérapie par modulation d'intensité (IMRT)
 - **Détecteur TraDeRa**
 - Hadronthérapie
 - **Contrôle en ligne par gamma prompts (collab. CLaRyS)**
 - **Etiquetage faisceau rapide : hodoscope diamant**
 - **Détection gamma prompts par temps de vol à haute résolution temporelle**
 - Radiothérapie par rayonnement synchrotron (micro-faisceaux)
 - **Imagerie portale 1D par détecteurs diamant**
- **Modélisation dosimétrique** (jusqu'en 2017)
 - Radiothérapie avec nanoparticules radiosensibilisantes
 - Radiothérapie par capture neutronique
- **Développement et applications des détecteurs diamant**
 - Physique des hautes énergies (collab RD42)
 - Physique nucléaire
 - **Détection ions légers et fragments de fission: ILL**
- **Structure Nucléaire** (à partir de 2017)
 - Expérimentale (GANIL, ILL, Riken, Jyväskylä) jusqu'en 2018
 - Théorique

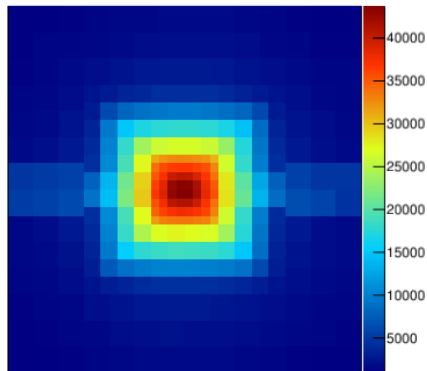
Faits marquants: TraDeRa

Détecteur Transparent pour le contrôle en ligne de la radiothérapie
- Mesure sur faisceau clinique du prototype 324 voies

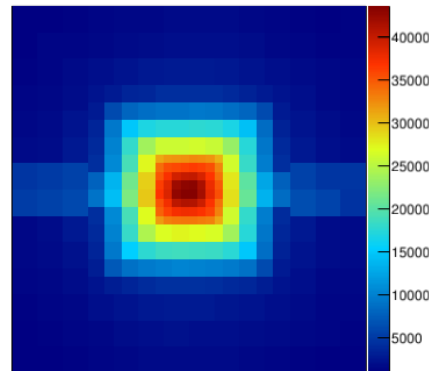


Détecteur 25x25 cm²
et son électronique
dédiée (ASICs QDC)

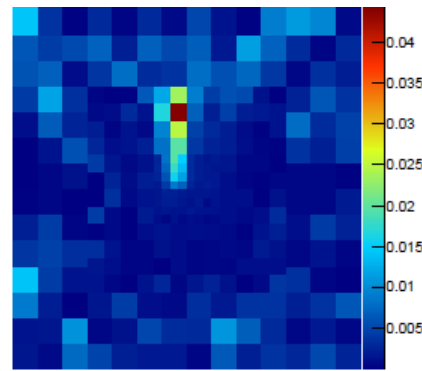
Référence



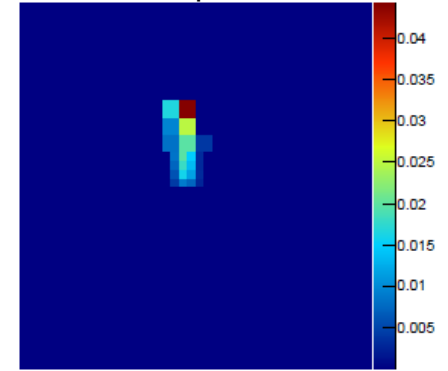
Biais: 1 lame
décalée de 1 mm



Différence relative



Correction
statistique > 6σ

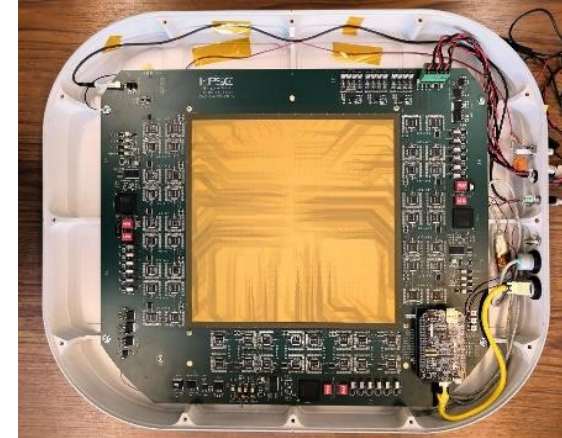


Faits marquants: TraDeRa

- Thèse I. Fonteille (2016) : Etude et conception du détecteur
- Thèse R. Fabbro (2017): Modélisation par simulation du faisceau de photons issu d'un LINAC de radiothérapie

- Conception et tests en labo prototype 1600 voies

- Valorisation de TraDeRa (Maturation SATT Linksium)
 - Financement IR
- Evolution vers R&D pour faisceaux haute puissance (Maturation SATT)
 - 2^e projet : **Projet IDORA** fin 2018
 - Industriel identifié pour preuve du concept sur son accélérateur

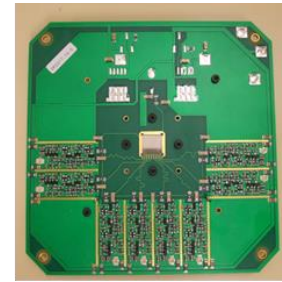
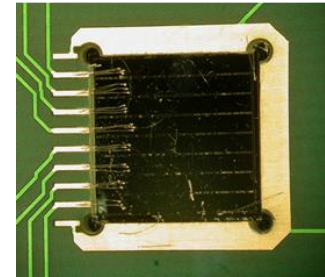


Faits marquants: détecteurs diamant

- Expertise existante au LPSC
(projet ANR Monodiam-HE: J. Collot , J. Hostachi, A. Lacoste *et al*)
- Collaborations
NEEL, ARRONAX, STROBE, ESRF, ILL (+RD42)
- Métallisation, montage à partir de diamants commerciaux
(poly ou monocristaux CVD, diamants sur iridium DOI)
- Développement électroniques de lecture
(ASIC et discrète, préamplis charge et courant, QDC)
- Mesures de caractérisation:
 - Microfaisceau XBIC à l'ESRF
 - Ions carbone au GANIL
 - Protons ARRONAX, CAL, IP2I
 - Banc de test alpha et beta
 - TOF-eBIC (NEEL)
 - Fragments de fission (ILL)

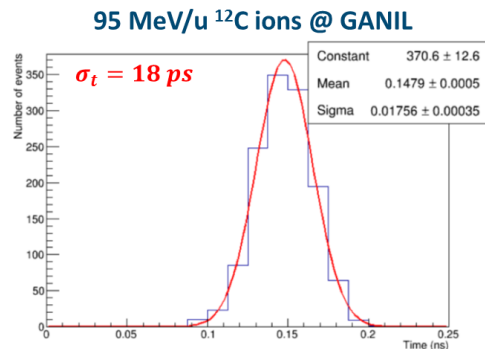
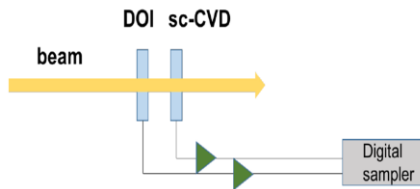


Détecteur diamant polycristallin 2 cm²

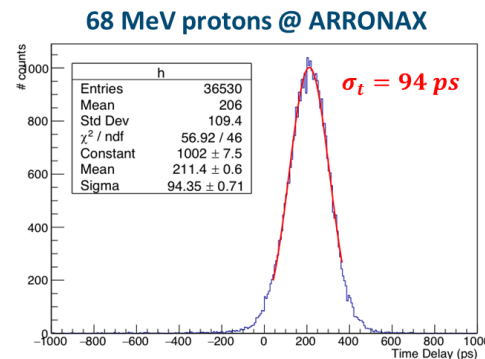


Détecteur diamant polycristallin 1 cm² 2x8 pistes double face, monté avec préamplis de courant

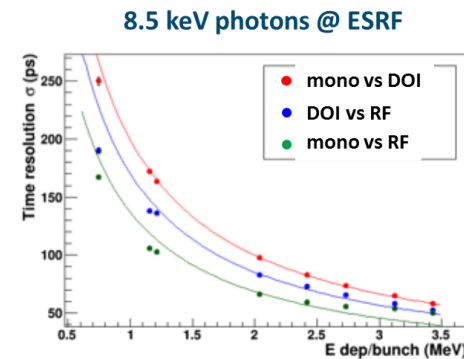
Exemple: Résolution temporelle entre 2 diamants



$\Delta E = 25 \text{ MeV}$ (300 μm diamond)



$\Delta E = 1 \text{ MeV}$ (300 μm diamond)

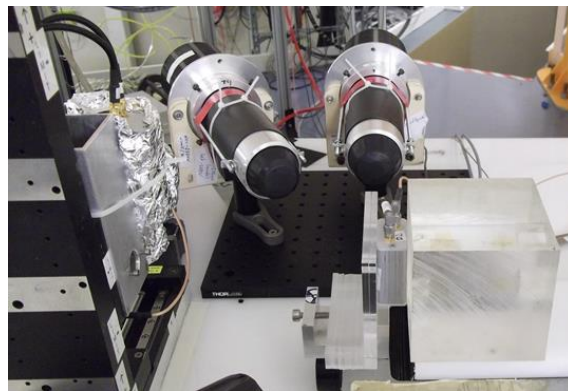
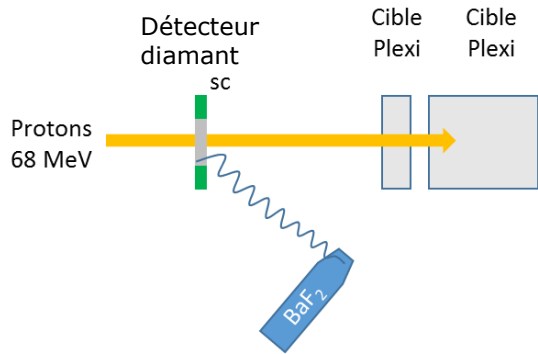


Faits marquants: mesures gamma-prompts

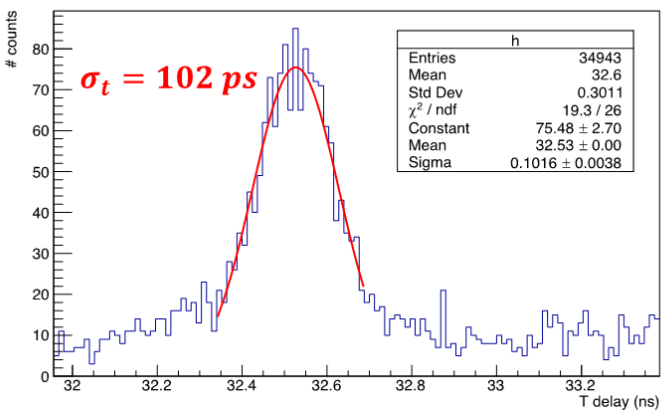
Détecteurs diamants et mesures gamma-prompts par temps de vol:

Collaboration CLaRyS: projet Physique-Cancer CLaRyS-UFT (2017-2020)

Expérience ARRONAX



Résolution sCVD Diamond vs BaF₂ Scintillator



Résolution temporelle de 100 ps

- ⇒ Localisation spatiale du vertex d'émission à ~1cm
 - ⇒ Imagerie gamma-prompts pour le contrôle en ligne du parcours en protonthérapie possible sans collimation (précision millimétrique sur un spot)
- (S.Marcatili et al, soumis à PMB)

Faits marquants: Structure Nucléaire

(Rappel: fusion des équipes fin 2017, puis départ G. Simpson et M. Ramdhane)

Forte production scientifique: 57 articles dans des revues internationales

Thèse Ivan Gratchev 2017, Dir. G. Thiamova:
Étude expérimentale et théorique de la structure nucléaire des isotopes de sélénium riches en neutrons

1 article commun de l'équipe

Projet: environnement scientifique

Interne au LPSC:

Collaboration avec :

- J. Collot (ATLAS)
- A. Lacoste et A. Bes (Plasmas)
- C. Sage et M. Ramdane (Réacteurs)

Fort soutien services Electronique et Détecteur-Instrumentation

Local: Collaborations établies:

- Institut Néel:
 - groupe SC2G (E. Gheeraert, J. Pernot et al): co-direction thèse IDEX telescope diamant
 - plateforme NanoFab
- INSERM UA007-STROBE : Codirection thèse LabEx imagerie portale diamant ESRF
- ILL : Expériences Lohengrin et FIPPS

Régional et National:

- IP2I-Lyon, CREATIS-Lyon, CPPM-Marseille, CAL-Nice: collaboration CLaRyS
- IP2I-Lyon: collaboration modélisation radiobiologie (Labex PRIMES)
- Institut Curie, LOA, IMNC: Dosimétrie Electron Haute Energie
- ARRONAX: détecteurs diamant pour gamma prompts et faisceaux pulsés
- Projet transverse IN2P3 DiamTech (Porteur LPSC, collaboration Subatech, ARRONAX)

International:

- franco-japonaise JSPS-CNRS FJDIAM
- RD42-CERN
- INFN-Milan, IFJ-PAN Cracovie

Réseaux:

- GDR MI2B
- LabEx PRIMES
- Réseaux semi conducteurs et instrumentation faisceau IN2P3
- ENLIGHT

Projet scientifique

1. Contrôle en ligne des irradiations à l'aide de détecteurs innovants

1.1 projet IDORA

1.2 Développement de détecteurs Diamant

1.3 Détection gamma prompts à haute résolution temporelle (100 ps)

2. Modélisation en dosimétrie pour les radiothérapies ciblées et la radiothérapie par électrons de haute énergie

3. Etude des noyaux en transition de phase dans le cadre du modèle ACM (algebraic collective model) et modèle Skyrme Hartree-Fock (G. Thiamova).

Projet scientifique

1. Contrôle en ligne des irradiations à l'aide de détecteurs innovants

1.1 Projet IDORA (coord. Y. Arnoud)

Dans le cadre d'un projet de valorisation

Volet Recherche et Développement pour les hauts flux (flash irradiations) utilisant des matériaux composites et nécessitant une électronique appropriée.

R&D électronique commune avec celle sur le monitoring diamant.

Accord de confidentialité avec industriel

Échéance Février 2020: preuve de principe pour intégration d'un système de sécurité en temps réel pour des irradiations flash (faisceaux e- 1 MW)

→ Décision pour co-développement ou transfert technologique

Projet scientifique

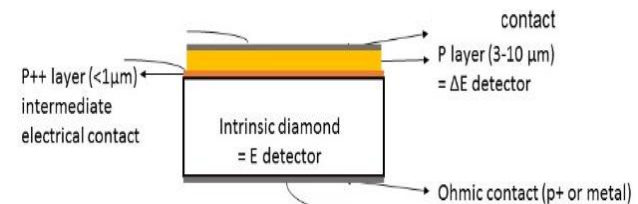
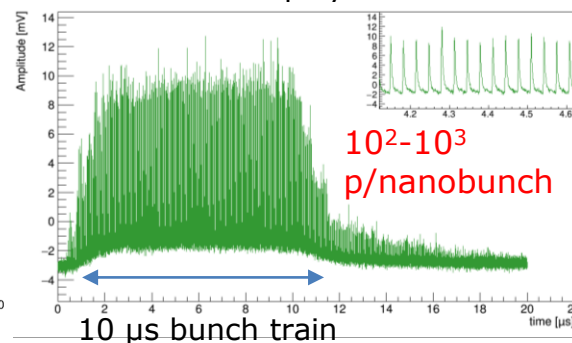
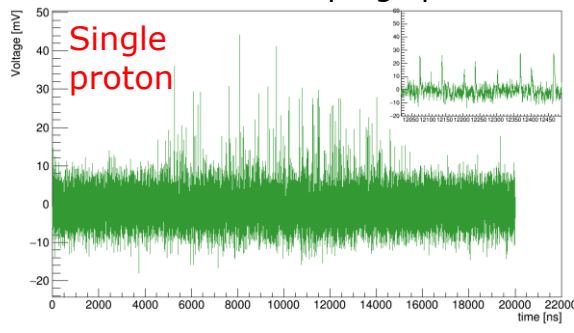
1. Contrôle en ligne des irradiations à l'aide de détecteurs innovants

1.2 Développement de détecteurs Diamant (projet transverse Diamtech coord. M.L. Gallin-Martel)

- Hodoscope pour étiquetage spatio-temporel en hadronthérapie (projet CLaRyS-UFT jusqu'à fin 2020 puis exploitation des résultats au sein de la collaboration CLaRyS, Thèse 2020)
- Imagerie de transit à haut flux en thérapie synchrotron par micro-faisceaux, (collaboration CHU, ESRF, STROBE), Thèse 2018-2021
- Monitoring faisceau pulsé en collaboration avec ARRONAX
- Réalisation d'un détecteur télescope DE-E en collaboration avec NEEL (projet IDEX UGA : DIATEL, thèse 2019-2022)
- Trigger fission (expérience FIPPS ILL)

En lien avec le service électronique, réalisation d'un ensemble d'électroniques de lecture dédiées (courant, impulsionnelle, spectroscopie...) voire une électronique en diamant (coord. O. Rossetto, collaboration NEEL).

Comptage proton 65 MeV avec diamant polycristallin

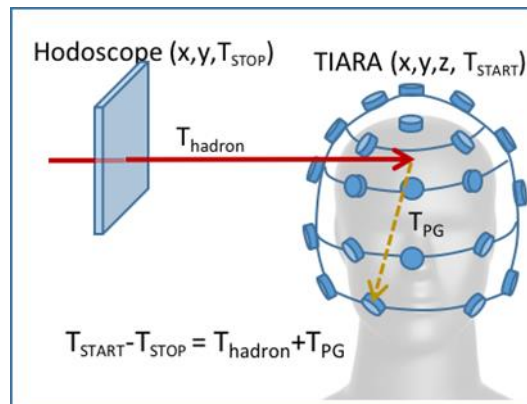


Projet scientifique

1. Contrôle en ligne des irradiations à l'aide de détecteurs innovants

1.3 Détection gamma prompts à haute résolution temporelle (100 ps) associée à l'hodoscope diamant pour l'hadronthérapie, dans le cadre puis le prolongement de CLaRyS-UFT après 2020, avec :

- Caméra Temporal (comptage photons dans un scintillateur monolithique par SiPM numériques)
- Projet TIARA : imagerie 3D par temps de vol avec scintillateurs ou radiateurs Cerenkov couplés à des SiPMs : projet mené par S. Marcatili, service instrumentation, thèse 2019-2022.

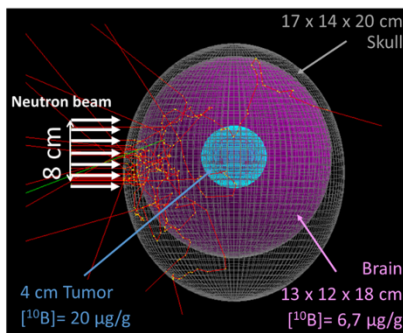


Projet scientifique

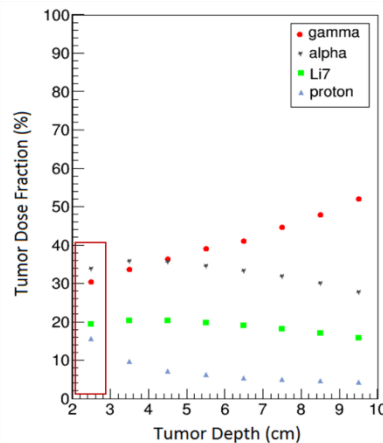
2. Modélisation en dosimétrie pour les radiothérapies ciblées et les électrons de très haute énergie (VHEE) (collaboration avec l'IP2I au sein du LabEx PRIMES, LOA, l'Institut Curie et IMNC).

Nouvelle thématique impulsée par l'arrivée de Rachel Delorme.

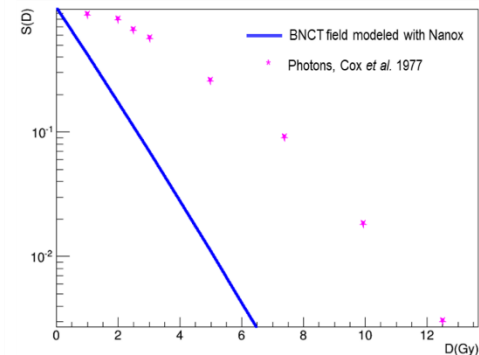
A l'interface de la physique et de la radiobiologie, pour mieux caractériser la dosimétrie à l'échelle tumorale et cellulaire des radiothérapies ciblées (NCT et nanoparticules) via le couplage des simulations Gate/Geant4 avec le modèle radiobiologique Nanox.



Geometry used in Geant4 code



Physical dose fraction to the tumor (tumor depth : 2 - 10 cm)



Cell-survival prediction for the calculated mixed field at 2 cm, applied to V79 cell line

Dosimétrie expérimentale et numérique de la radiothérapie par faisceaux VHEE.

Conclusion

2015-2019: Restructurations, diversification, collaborations, reconnaissance

Projets cohérents qui bénéficient

- d'objectifs communs (ex: contrôle en ligne traitements, mesures de hauts flux)
- de développements communs (électronique)

Environnement unique : ESRF, ILL, CHU, LabEx, JSPS, Master

Applications sociétales: stimulant, attractif

Particularité: recherche gouvernée par les AAP

Evolutions de l'équipe:

2015: *Equipe DAME* (resp O. Rossetto)

Arrivée **Denis Dauvergne** septembre 2015 (mutation)

→ *Equipe Physique pour les Applications Médicales* (resp. D. Dauvergne)

2018: fusion avec l'équipe Structure Nucléaire (G. Simpson CR, M. Ramdhane Pr, G. Thiamova MCF)

→ *Equipe Physique Nucléaire et Applications Médicales*

Juin 2018: démission G. Simpson, départ M. Ramdhane dans l'équipe Réacteurs

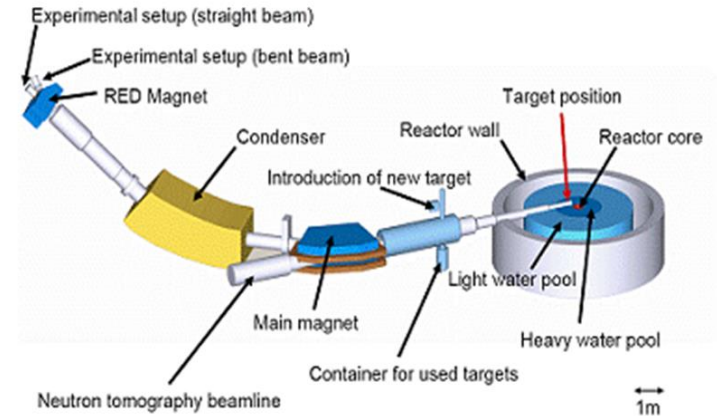
- 2 thèses soutenues :
 - **Robin Fabbro** (2017) (directeur de thèse Y. Arnoud et JF Adam) – Modélisation par simulation du faisceau de photons issu d'un LINAC de radiothérapie (→ [Physicien médical](#))
 - **Isabelle Fonteille** (2016) (dir. G.Y. Giraud, co-dir Y. Arnoud) - Étude et conception d'un détecteur bidimensionnel transparent permettant le suivi en temps réel de l'administration des traitements de radiothérapie modulés en intensité (→ [Physicienne médicale](#))
- 1 HDR :
 - **Marie-Laure Gallin-Martel** (2016) – Instrumentation détecteur: d'ATLAS aux applications médicales
- 4 postdocs :
 - **Alexia Gorecki**
 - Post-doc Canceropôle CLARA en 2015 (détecteurs diamant) (→ [CDI privé](#))
 - **Rachel Delorme**
 - CDD IN2P3 de 2015 à 2017 (modélisation radiobio et TraDeRa)(→ [CR CNRS à l'IMNC](#))
 - **Sara Marcatili**
 - CDD IN2P3 puis CDD Physique Cancer de 2017 à 2018 (détecteurs diamant) (→ [IR-chercheuse CNRS LPSC – service Instrumentation](#))
 - **Jayde Livingstone**
 - Invitée PRIMES et CDD Physique-Cancer de 2018 à juin 2019 (simulations camera Compton) (→ [CDD IP2I puis privé](#))

Faits marquants

Détecteurs diamants pour la mesure de fragments de fission

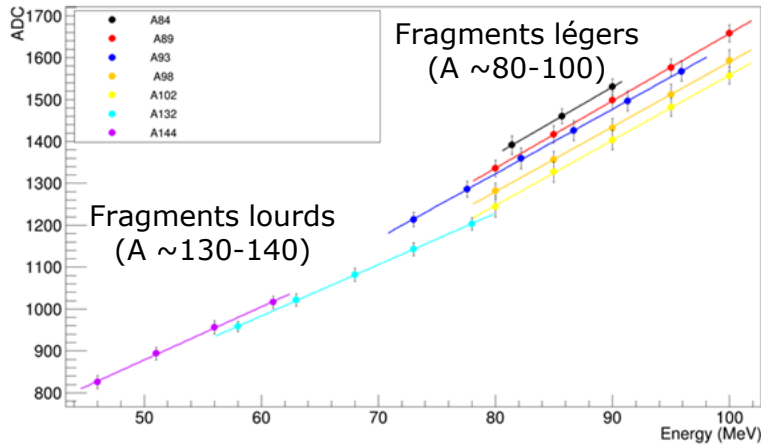
Collaboration ILL, LPSC/Réacteurs, Cracovie, Milan

Expérience ILL-Lohengrin

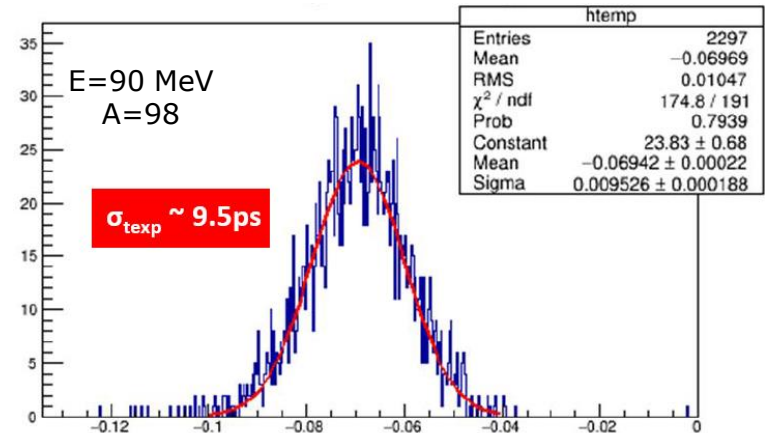


Résolution en énergie de 1 à 2 %

Mesures de pulse-height defect



Mesure de résolution temporelle



(M.-L. Gallin-Martel et al, FJDiam 2019)