



Groupement
de recherche

MI2B Outils et méthodes nucléaires
pour la lutte contre le cancer

Pôle « Outils et méthodes Physiques pour les Radiothérapies Innovantes »

Co-Responsables du pôle:

Rachel DELORME (LPSC, Grenoble)

Manuel BARDIÈS (IRCM, Montpellier)

Organisation de la session

- **Rachel DELORME** (LPSC, Grenoble, 20') : Activités, Bilan et Perspectives pôle RT
- **Manuel BARDIÈS** (IRCM, Montpellier, 5') : Séminaire « Radiothérapie Interne Vectorisée »
- **Alice ROUSSEAU** (LNE-LNHB, Saclay, 15') : "Développement de contrôle qualité en radiothérapie externe stéréotaxique basé sur la dosimétrie 3D par gel Fricke-Xylenol orange-Gelatin"
- **Nathan BENZAZON** (IGR, Villejuif, 15') : "A scoping review of analytical out-of-field dose calculation methods for external photon beam radiotherapy."
- **Mathieu MAROT** (DKFZ, Heidelberg, 15') : "Dosimétrie de faisceaux de protons en présence d'un champ magnétique en utilisant des chambres d'ionisations"
- **Maxime JACQUET** (LPSC, Grenoble, 15') : "Conception d'un détecteur gamma prompt pour le contrôle en ligne de la hadronthérapie"
- **Sarvenaz KESHMIRI** (STROBE, Grenoble, 15') : "PenMRT: a multi-scale dose calculation engine for microbeam radiation therapy"
- **Giovanna Rosa FOIS** (LPC, Clermont-Ferrand, 15') : "The FLASHMOD project @ ARRONAX proton beamline"

Activités du pôle: Quelles équipes

- Orsay : IJCLab – Pôle Santé / Institut Curie (équipes NARA, CPO)
- Palaiseau : LLR / LOA
- Strasbourg : IPHC
- Caen: LPC-Caen / GANIL
- Nantes : Subatech / ARRONAX
- Clermont-Ferrand : LPC – Clermont
- Lyon : IP2I / CREATIS / LIRIS
- Grenoble : LPSC / Equipe STROBE
- Marseille : CPPM
- Montpellier: IRCM
- ...



Quels projets par type de Radiothérapies

- **Radiothérapie photon** → Dose à la peau (*IPHC*), Modélisation/IA (*CREATIS*)
- **Hadronthérapie** (p, α , ^{12}C)
 - Outils numériques → ESPADON (*LPC-Caen*)
 - Systèmes de dosimétrie → Scintillateur 3D (*GANIL/LPC*), Dose 2ndaire (*IPHC*), μ détecteurs (*IJCLab*)
 - Moniteurs faisceaux → PEPITE (*LLR-Arronax*), Diamants (*LPSC-CLARYS-Arronax*)
 - Contrôle en ligne du parcours des ions → Collab. CLARYS (*IP2I-CPPM-LPSC-CREATIS*), TIARA (*LPSC-CPPM*), detect. Bremsstrahlung (*Subatech-Arronax*)
- **Thérapie FLASH** → Inst. Curie, plateformes Arronax & Precy → Cf. Plateformes
→ Détecteurs IDORA (*LPSC*), Dosi-FLASH (*LPC-Caen*), Subatech...
- **Electrons de très haute énergie** (VHEE, 70-300 MeV) → LPSC, Inst. Curie, LOA
- **Fractionnement spatial** → Minifaisceaux (*Inst. Curie*), moniteur diamant (*LPSC-STROBE*)
- **Capture Neutronique par le Bore (BNCT)** → AB-NCT & microdosimétrie (*LPSC*)
- **Radiothérapie interne** → IRCM, LPSC, Dosimètre α (*GANIL*), CREATIS, THIDOS (*IJCLab*)...

Radiothérapie photons

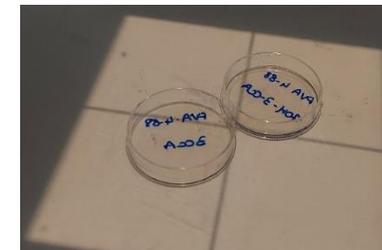
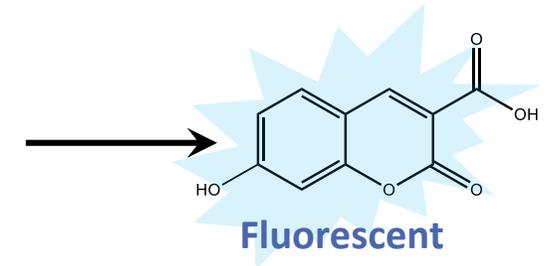
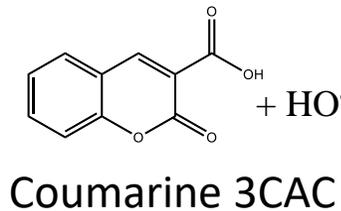
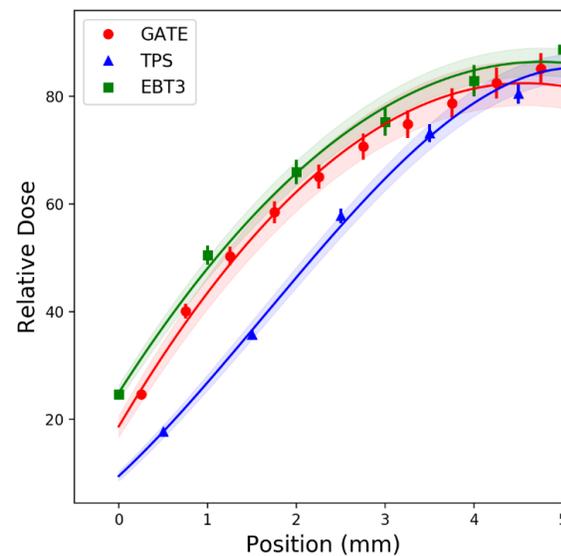
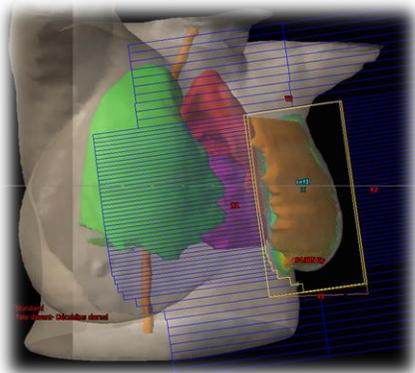


Présentations : Alice ROUSSEAU @ 9h
Nathan BENZAZON @ 9h12

Equipe DeSIs et Radiochimie (IPHC) : dose à la peau en RT mammaire

quentin.raffy@iphc.cnrs.fr,
nicolas.arbor@iphc.cnrs.fr

- Développement d'un **gel dosimétrique** pour la mesure de dose absorbée à l'échelle micrométrique
- Applications à la problématique de la **dose à la peau en traitement mammaire VMAT**
- Modélisation Monte Carlo de la **dose surfacique** en radiothérapie (GATE)
- Collaboration avec l'ICANS (Strasbourg)



Gels polyvinylalcool –
coumarine 3CAC
Epaisseurs : 50 à 100 µm



Obtention d'un financement dans le cadre des actions "**Declic**" du **CNRS** pour le développement et la Valorisation des gels dosimétriques pour la mesure de dose à la peau en RT mammaire.

○ Activities:

• Monte Carlo simulations

- ✓ Dosimetry: radionuclide therapy
- ✓ OpenGate collaboration [Sarrut2014, Sarrut2021]

• IA for MC simulations

- ✓ Deep Learning for detector modeling
- ✓ GAN (Generative Adversarial Network) for phase-space modeling
- ✓ [Sarrut2018, Sarrut2019, Sarrut2021]

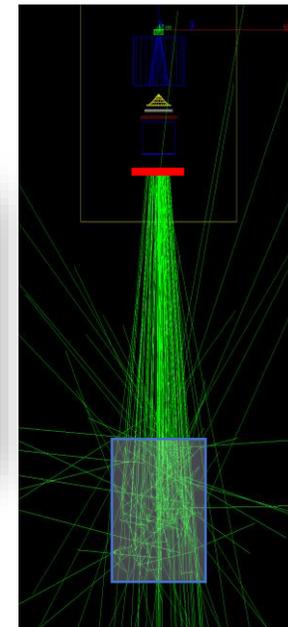
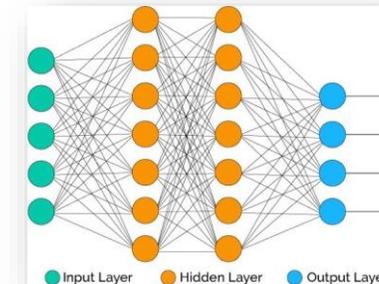
• Radionuclide therapy dosimetry

- ✓ Lu-177 for NETs and PSMA ; Y-90 SIRT (liver)
- ✓ Patients from Léon Bérard cancer center, Collaboration: Philips, Siemens
- ✓ New Veriton CZT SPECT system

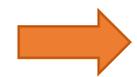
• 4D SPECT reconstruction & Compton Camera

Cf. présentation Lydia
MAIGNE « Calcul » @ 11h

CENTRE DE LUTTE
CONTRE LE CANCER
**LEON
BERARD**



Hadronthérapie



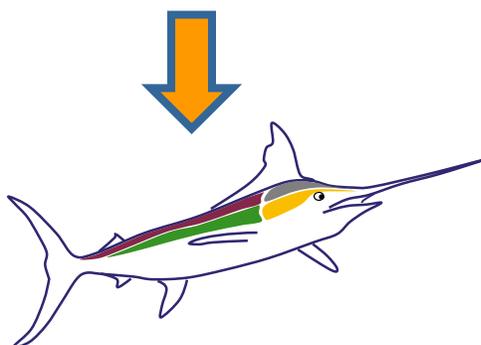
Présentation Mathieu MAROT @ 9h24

Outil développé pour la gestion unifiée des données patients et faciliter leur analyse.
Cadre du projet **PMRT-Caen** = Plateforme de Modélisation des effets de la RadioThérapie.

→ 1 doctorant (dir. J. Thariat) analyse toxicité traitements PT cohorte ~300 patients

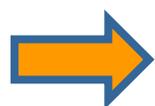
Importation des DICOM

CT, MR, PT, reg
RT-struct, RT-dose, RT-plan ...



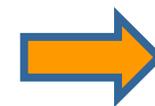
Gestion

- Unifiée des imageries
- Native des changements de référentiels



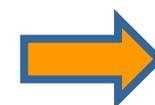
Traitement d'images 3D

Rééchantillonnage
Filtrage
Mesh



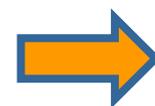
Segmentation 3D

Sélection sur histogrammes, contours
Opérateurs de morpho math



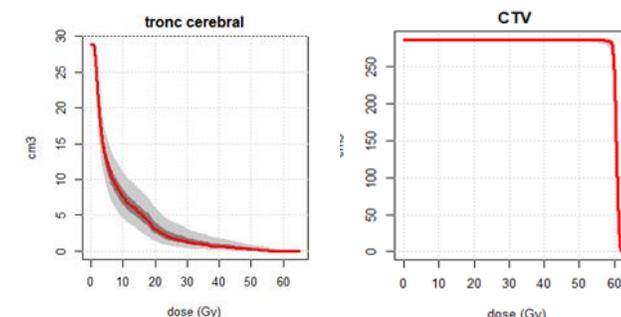
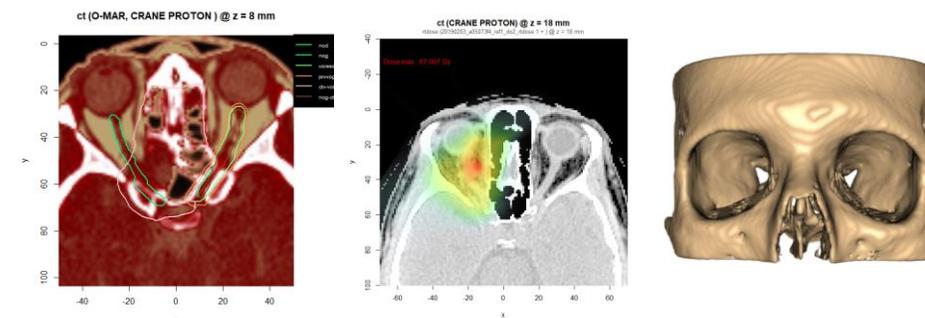
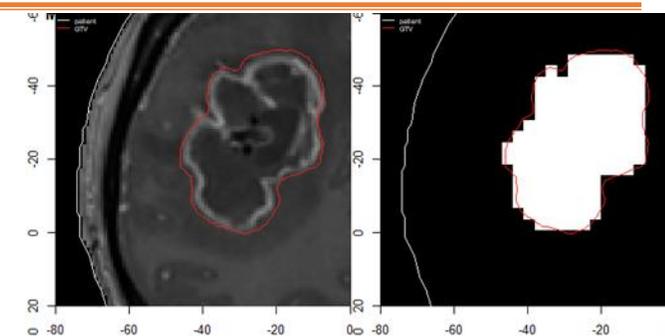
Représentation 2D et 3D

Contours, surfaces, mesh



Indicateurs dosimétriques

DVH + MC
Dice, dose, volumes, surfaces...



Disponible en version β sur demande auprès de cfontbonne@lpccaen.in2p3.fr

Développement d'un outil dosimétrique pour le PBS en protonthérapie - A.M. Frelin-Labalme, J.M. & C. Fontbonne

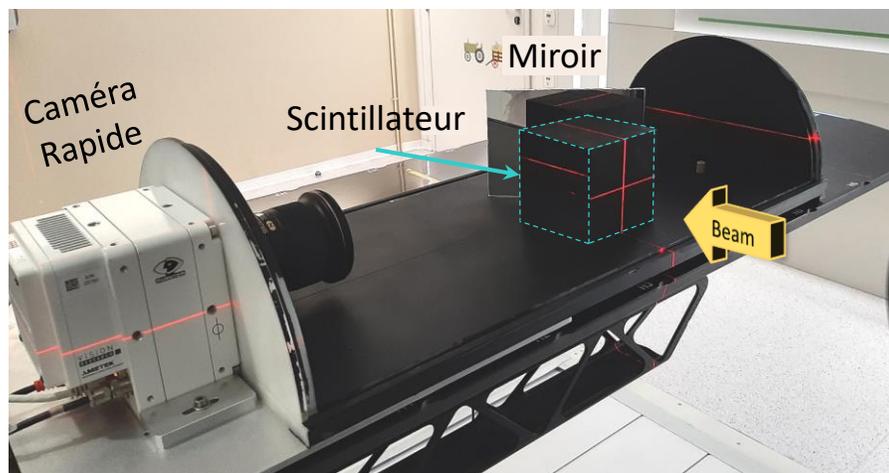
Objectifs :

- Contrôle qualité des faisceaux adapté aux petits champs
- Dosimétrie absolue 3D

→ Demande thèse

→ Démarche valorisation

1 image (2 plans) / pulse

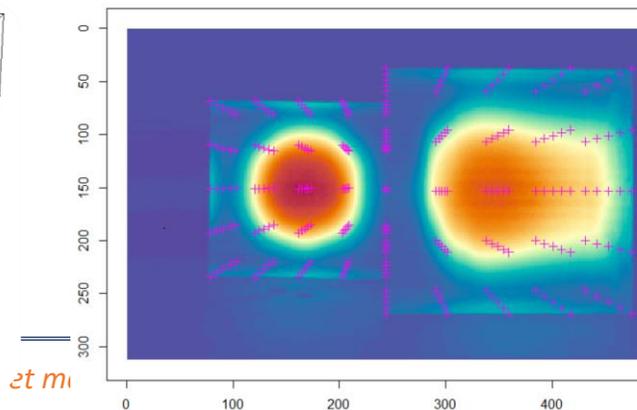
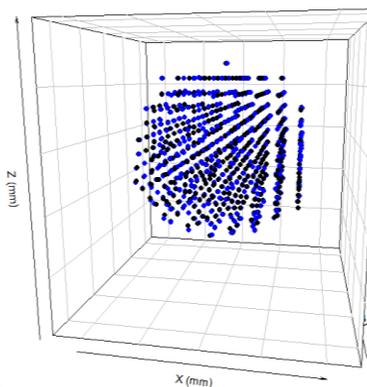
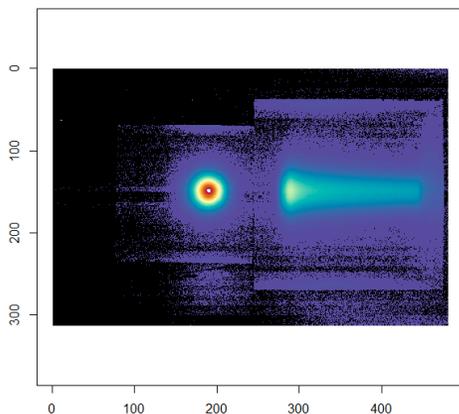


Incertitude en position (x, y, z) :
≤ 200μm

Incertitude sur les UM en situation clinique :
< 1% à 1Gy



Cumul de tous les pencil beam:
contrôle position (x,y,z) vs planification

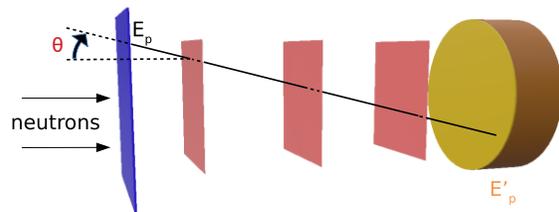
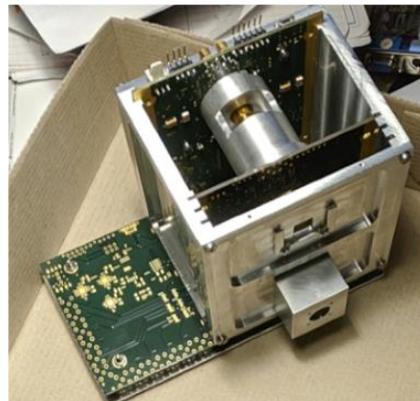


Carte 3D Scintillation cumulée → dose (A calibrer)

Equipe DeSIs (IPHC) : dose secondaire en hadronthérapie - M. Vanstalle, N. Arbor

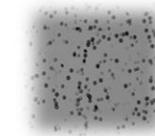
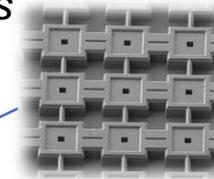
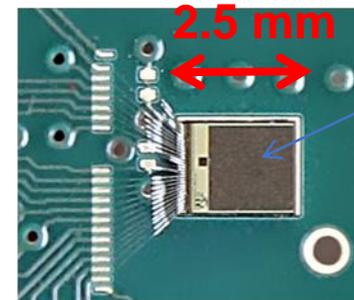
- Instrumentation pour la **mesure temps-réel des neutrons secondaires**
- Applications aux calculs **Monte Carlo de dose absorbée due aux particules secondaires (GATE)**
- Collaboration **IN2P3-CAL** pour une application en protonthérapie

Spectrométrie neutron (téléscope à protons de recul)

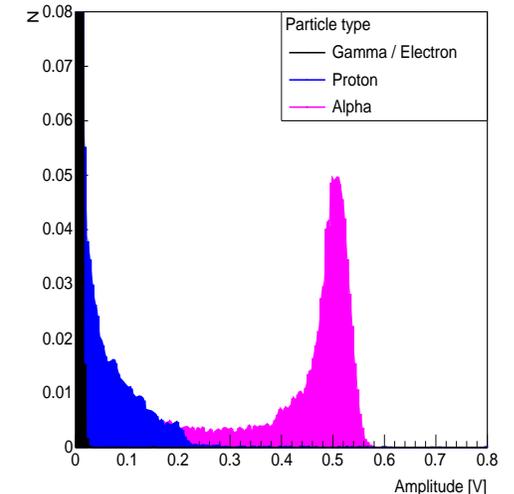


Compteurs neutrons thermiques / rapides

64x64 micro-diodes

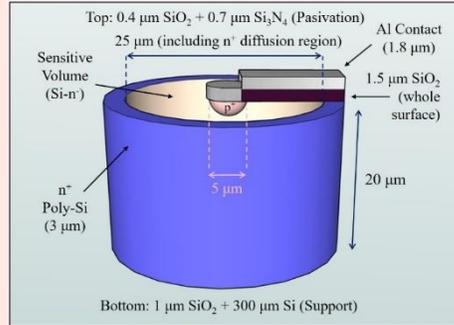


CR-39



⇒ Collaboration avec le LPC Caen pour la mesure des particules secondaires chargées

1. Silicon 3D-detectors



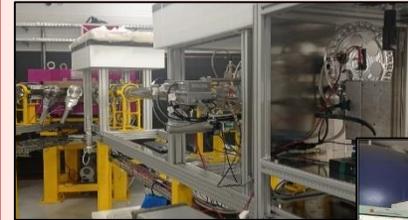
Microdosimetry system for radiobiology or clinics

Dimension ~cell nuclei (few tens μm) → Study of energy/dose deposition in microscopic volumes

Better determination of the RBE

3. Characterization and test with proton beams

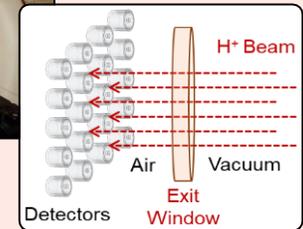
IPHC (Strasbourg)



CPO (Orsay)



ALTO (Orsay)



2. Three different configurations

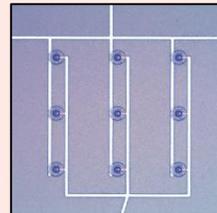
a) Pixel type

~ 4 cm × 1.3 mm
2D maps with 200 μm resolution.



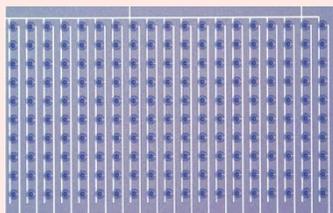
b) Array type

~ 12 cm
1D maps with 600 μm resolution.



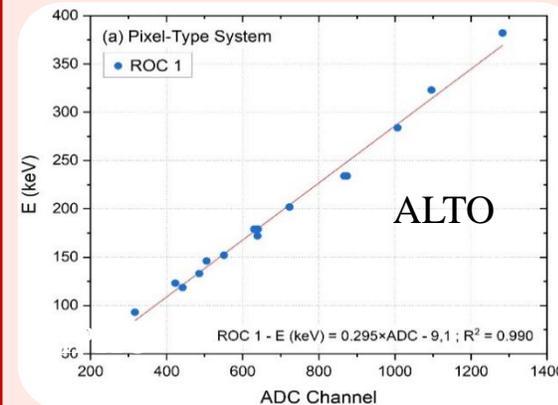
c) Strip type

~ 5 cm
1D maps with 100 μm resolution.

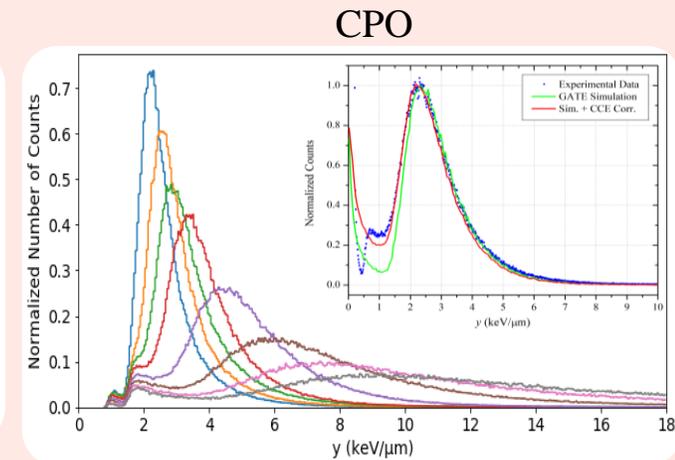


Same data acquisition system for all of them.

4. Results



Energy Calibration
(Good linearity 5 - 20 keV/μm)



Microdosimetry spectra



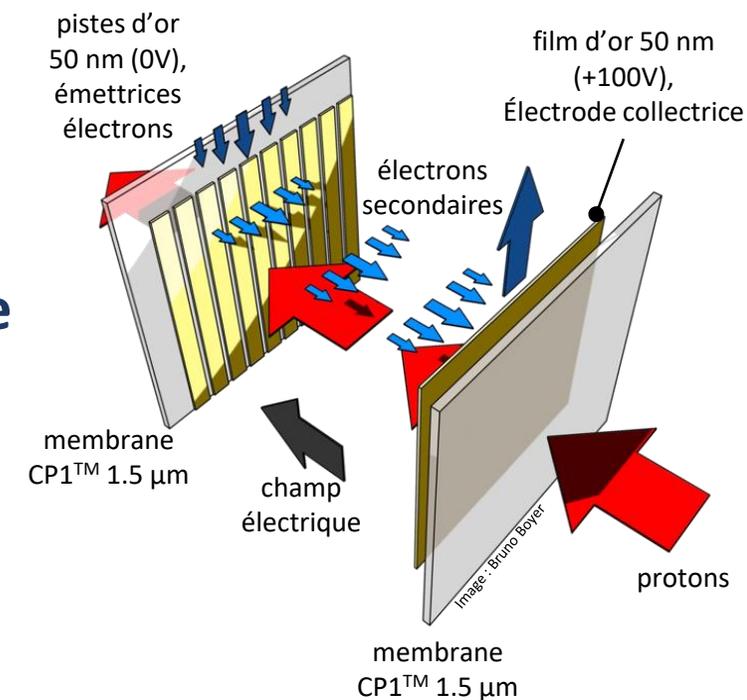
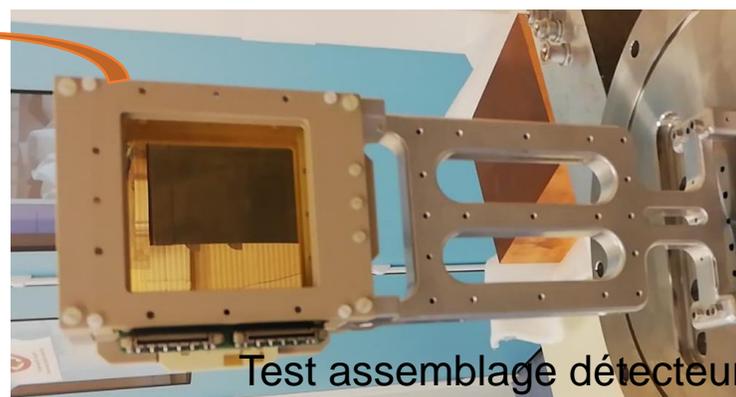
○ Détecteur PEPITES:

- Epaisseur < 10 μm WET
- Faisceau de proton: $E \sim 100 \text{ MeV}$, $\sim 1 \text{ pA} - 10 \text{ nA}$

○ Financé P2IO & ANR (\rightarrow juin 2022), porteur LLR

- ARRONAX : études endommagements sous irradiations
- CEA/DEDIP : ASIC bas-bruit, grande dynamique

○ Installé ARRONAX: opérations routine & retour d'expérience



○ PEPITES : bon candidat au monitoring de faisceaux FLASH !

Brevet (Janv. 20), international en cours

https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20190815&CC=WO&NR=2019154785A1&KC=A1#

Objective

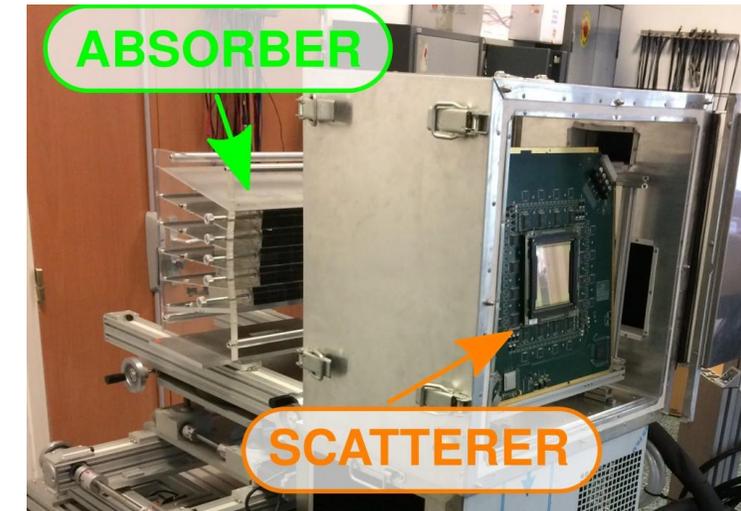
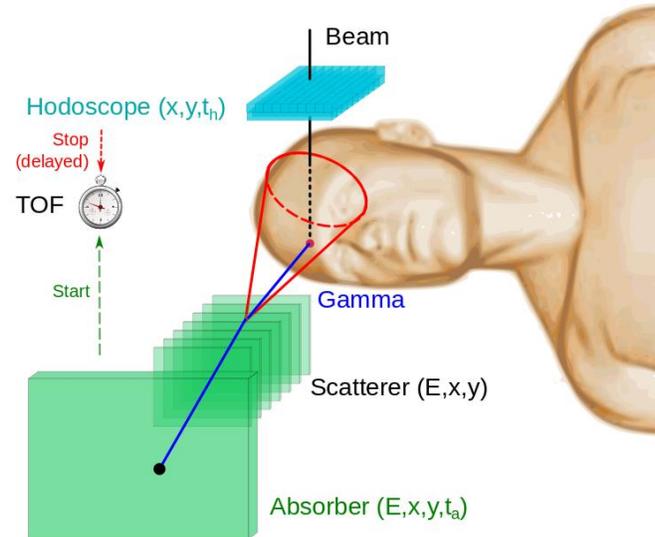
- Development of “TOF” gamma cameras for hadrontherapy verification

2 modalities

- Compton camera
- Collimated camera (Multi-Parallel Slit camera)

Detectors

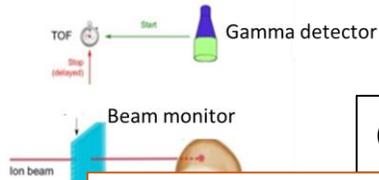
- Absorber (for both cameras): BGO scintillators
- Scatterer of the Compton camera: 7 silicon detectors (DSSD)
- Beam hodoscope: Diamond detectors



Prompt Gamma detection + diamond hodoscope

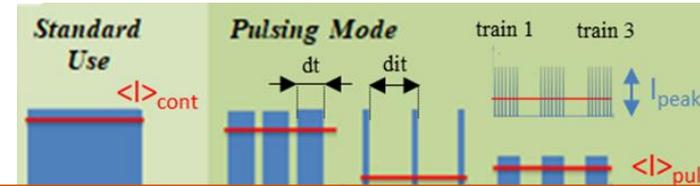
DIAMMONI: Beam monitoring of pulse ion beam for FLASH

Tests in ARRONAX with 68 MeV proton beam



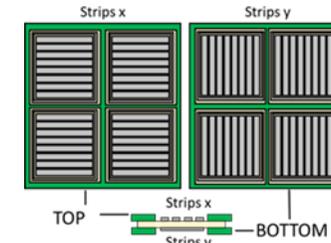
Gamma detector

Structure des faisceaux à ARRONAX



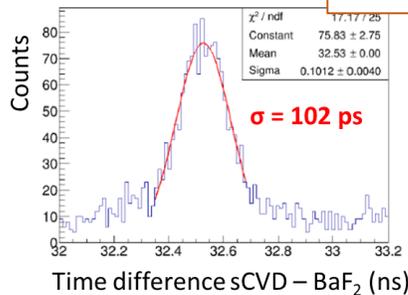
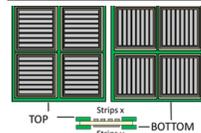
Nouveaux tests ARRONAX Juillet 2021 (Thèse P. Everaere)

Validation matrice diamant (2x2 cm²) + préampli LPSC
Avec résolution temporelle ~158 ps entre 2 strips

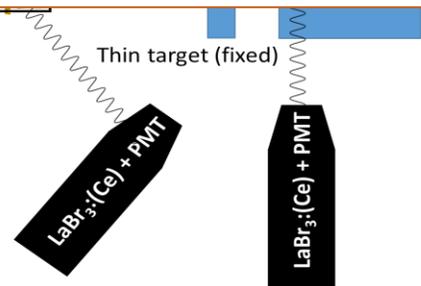


C. Hoarau et al 2021 JINST 16 T04005

Diamond beam

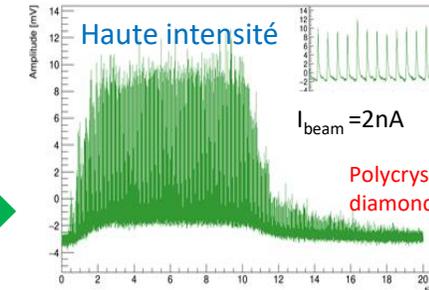
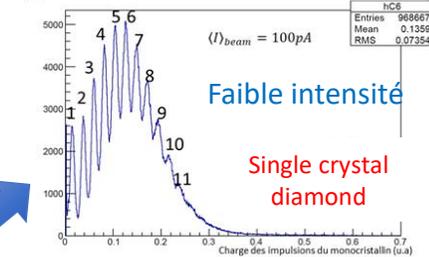
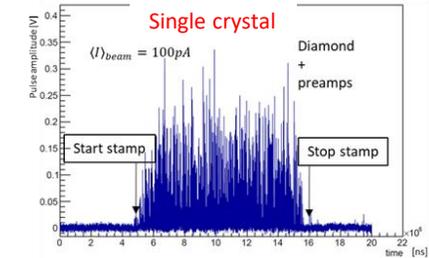


S. Curtoni PhD thesis and article <https://arxiv.org/abs/2105.05053>
S. Marcatili et al. Phys Med Biol 65 (2020) 245033

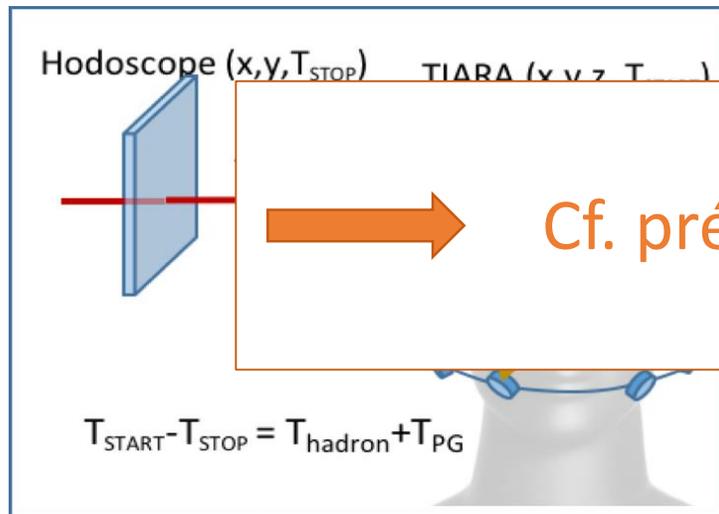


Détecteur pixelisé pour mesures transverses

- Comptage chaque particule à faible intensité faisceau dans chaque impulsion
- Comptage des particules dans le train à forte intensité (100 pA à 1 µA)



3D imaging of Prompt Gamma vertex through the exclusive measurement of Time Of Flight



Pixel detector: Cherenkov radiator + SiPM

Cf. présentation de Maxime JACQUET!

100 ps rms

tion through

old

$$TOF = T_{proton}(r_v) + \frac{1}{c} \|r_d - r_v\|$$

- Reconstruction validated in 1D: 1 mm range shift sensitivity
- 3D reconstruction under development

FLASH

➔ Présentation Giovanna Rosa FOIS @ 10h09
FLASMOD Project @ ARRONAX (modeling) 

 
➔ Présentation Charbel KOUMEIR @ 14h15 :
ARRONAX /Subatech développements plateforme FLASH

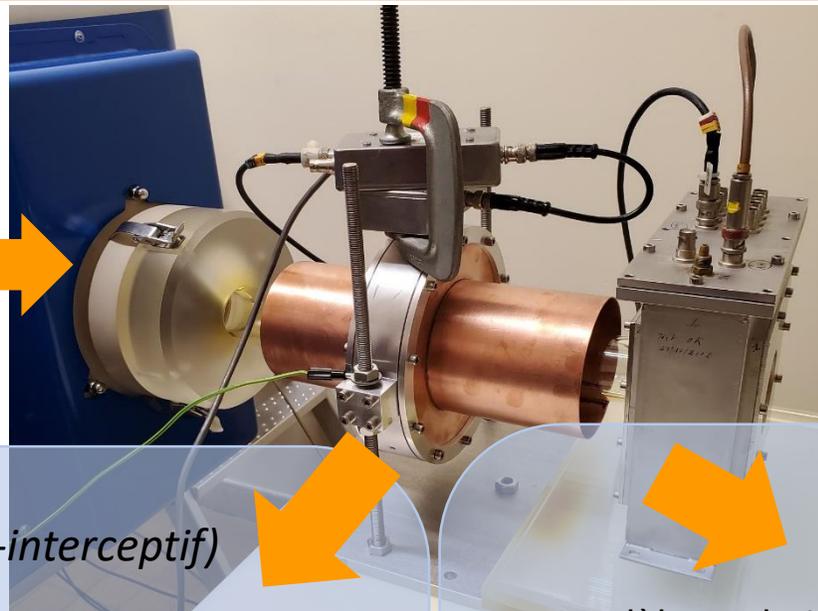
➔ Présentation Marc ROUSSEAU @ 14h : ResPlandir,
PRECy développements plateforme FLASH

Système de monitoring en UHDD : projet DOSIFLASH

Chloe Lahaye (doctorante), S. Salvador & J.M. Fontbonne

La machine ElectronFlash

- e- de 5 ou 7 MeV
- Faisceau pulsé (0,5 – 4 μs)
- Mode Standard ou Flash (0,002 – 7,5 Gy/μs)
- Appicateurs diam. 20 – 110 mm



Rôle du moniteur

- Mesurer la dose relative en temps réel en calibrant le BCT (Transformateur de Courant faisceau) par la Chambre à ionisation en début d'irradiation.
- Envoyer un signal d'arrêt à la machine lorsque la consigne de dose est atteinte

BCT :

(transformateur de courant non-interceptif)

$$I \propto \dot{N}_{e^-}$$

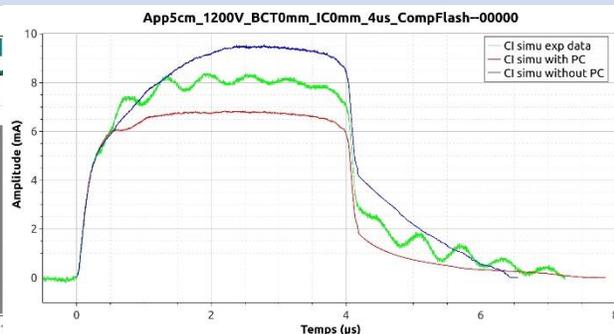
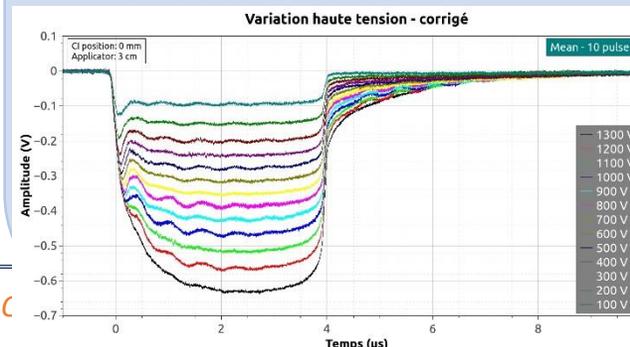
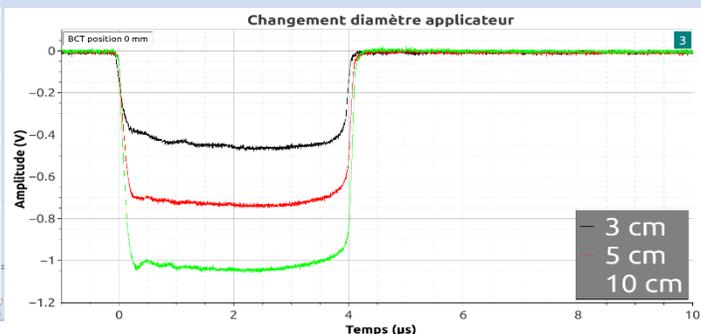
- Dimensionnement de la ferrite
- Une électronique de mesure par mode (correction *droop rate* et optimisation S/N)

Chambre à ionisation :

$$I(t) \propto \dot{D} \text{ si } t < 100 \text{ ns}$$

- Modèle analytique du comportement de la chambre en UHDD -> Extraction des paramètres physico-chimiques et de mobilités des charges
- Développement d'une chambre à extrapolation -> Calibration en dose absolue

Temps de montée	11 ns
Temps de descente	0.6%/μs
Bande passante	10 kHz – 20 MHz
Courant faisceau min.	20 μA

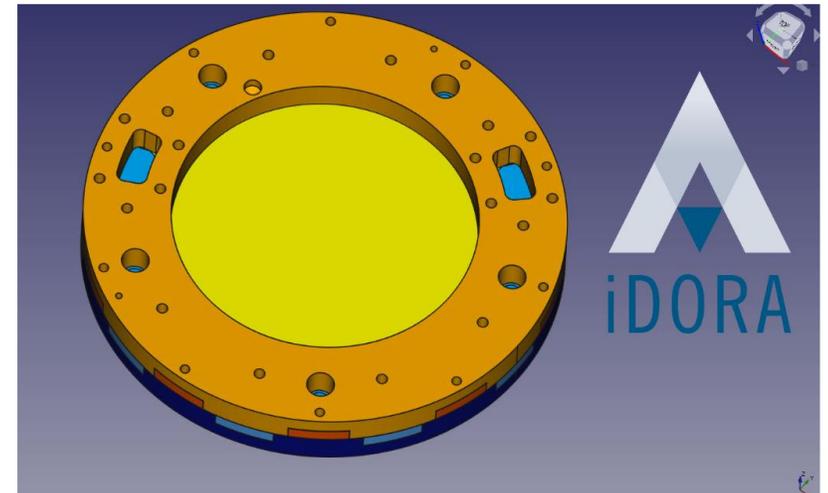


○ iDORA: Dedicated ion chamber for ultra-high dose rate beam monitoring:

- **Objective:** New extra-thin monitor chamber design without saturation up to 1 kGy/s
- Development of a specific electronic readout with large dynamic: (1–1 000 000)
- Real-time measurements ($< 800 \mu\text{s}$) for each linac pulse
- Global precision better than 0.1%

○ Developments:

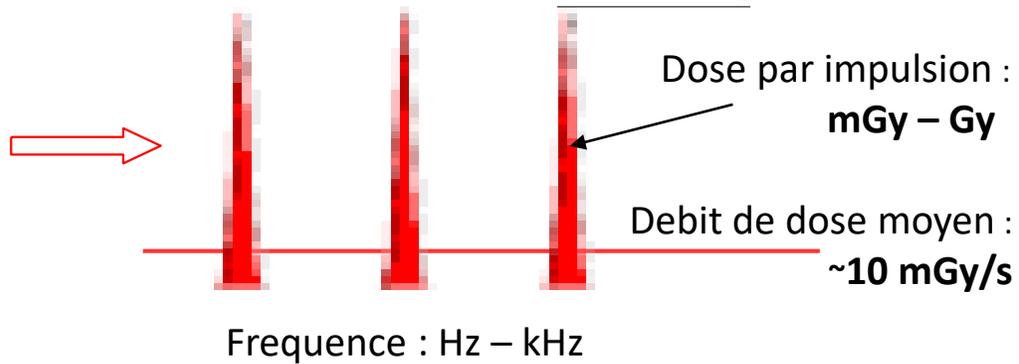
- **Valorization with SATT** funding (15 month engineer)
- Detector design done \Rightarrow Manufacturing in progress
- Temperature resistance validated
- Patent submission if proof of concept in real irradiation conditions
- Co-development with the company



VHEE & Faisceaux Laser Plasma

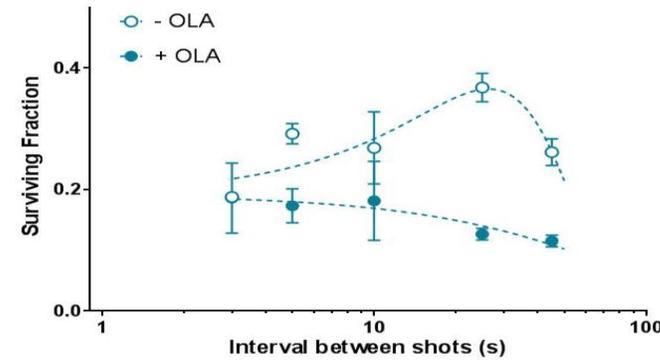
Source de particules par laser

Debit de dose instantané : $10^7 - 10^{12}$ Gy/s

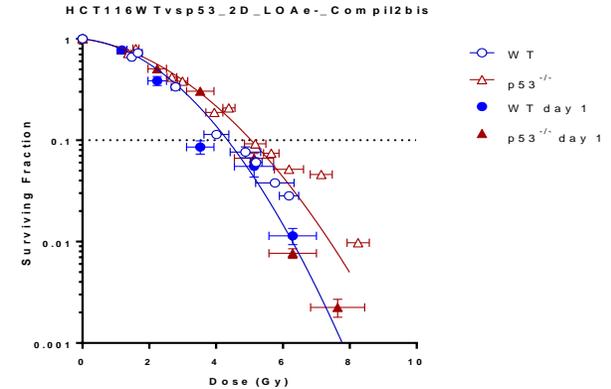


Premières études de radiobiologie sous faisceaux laser-plasma

HCT116 WT

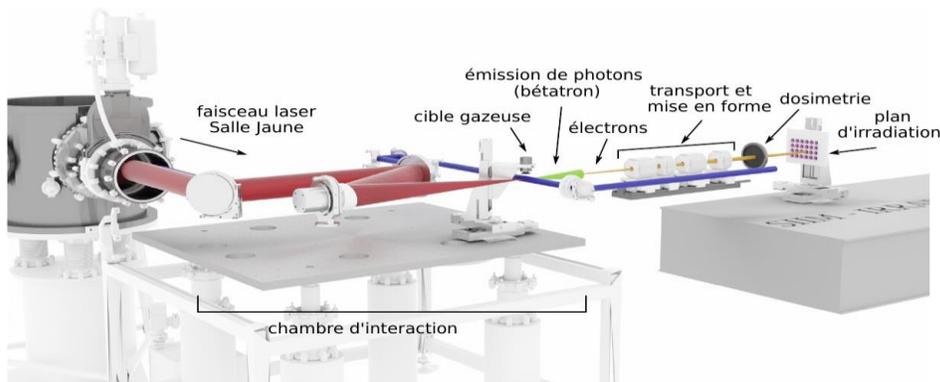


[1] Variation de survie à dose constante et fractionnement variable (**Protons**, 0.7Gy/pulse, 6 pulses). *Bayart et al. Sci.Rep. 2019*



[2] Étude de survie avec une source LEE à haute répétition (**Electrons**, 1mGy/pulse @ 1kHz). *Cavallone et al. APhB, 2021*

IDRA: plateforme d'irradiation laser-plasma



Objectifs :

- Mise en place d'une **ligne dédiée aux applications de biologie**
- Mise en place d'un protocole de **dosimétrie adapté et intégré**
- Exploration des effets liés aux irradiations ultra-courtes (< 1 ps) et aux débits instantanés ultra-élevés ($> 10^9$ Gy/s)
- Irradiation avec **LEE** (< 20 MeV) et **VHEE** (70 – 150 MeV)

○ **Objectifs** : étudier et développer la **radiothérapie VHEE** (e- 70-300 MeV) et sa combinaison au **fractionnement spatial** de la dose (Grid, minifaisceaux) et irradiation **FLASH** → vers radiobiologie.

1) Evaluation numérique des **dommages ADN (IRSN)** et RBE des VHEE et VHEE-MBRT.

- Dos Santos et al. 2020, Med. Phys. 47 (3), 1379
 - Delorme et al. 2021, Sci. Rep. 11:11242

IRSN

2) Etude numérique des conditions cliniques et **radioprotection VHEE**

- Masilela et al., in revision in Sci. Rep.

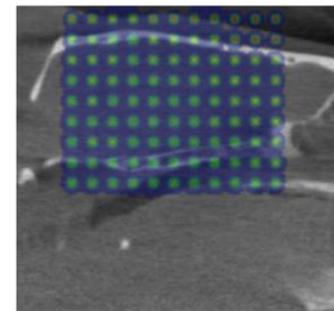
3) Etude des paramètres de faisceau pour la **VHEE Grid therapy**

- Delorme et al. 2019, Nucl. Phys. News 29, 32
 - Delorme et al. 2018, EP-2198, Rad. Oncol., 127:S1214

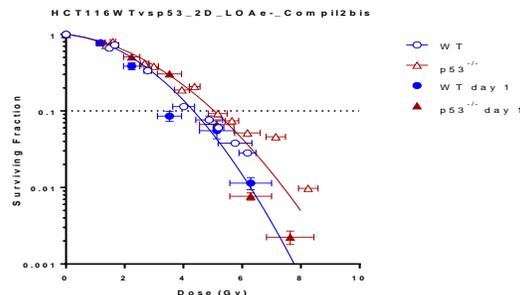
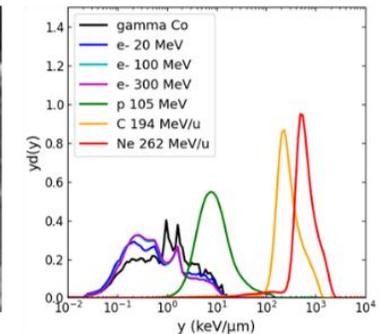
4) Dosimétrie exp. faisceau **Laser-Plasma VHEE (LOA) & électrons FLASH (CHUV)**
 Razor Nano Chamber d'IBA (RNC) + Gafchromic Films

- Cavallone et al. 2021, Appl. Phys. B 127, 57
 - Cavallone et al., à venir...

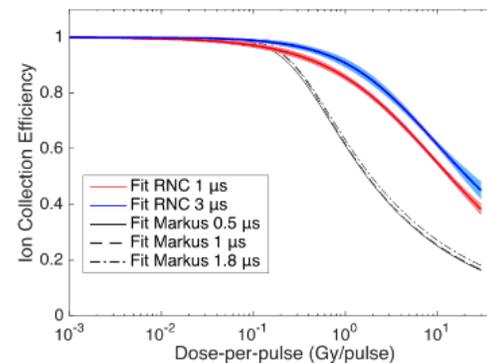
VHEE Grid Therapy on rat CT



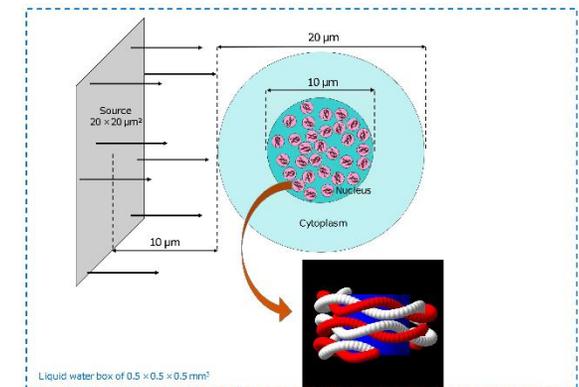
VHEE microdosimetry study



Biol. Experiment on laser-plasma e- beam with RNC + Film dosimetry



Razor NanoChamber response under FLASH beam

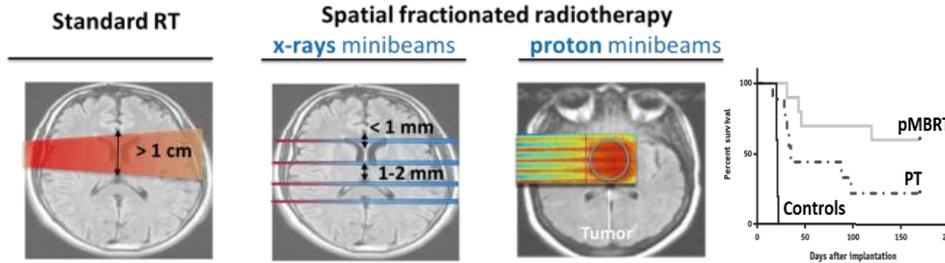


Fractionnement spatial de la dose

Innovative radiation therapy techniques: multiscale spatio-temporal optimisation – *L. De Marzi et al.*

Spatial optimisation of irradiation (MBRT)

Proton minibeam radiotherapy (pMBRT) : a new therapeutic approach

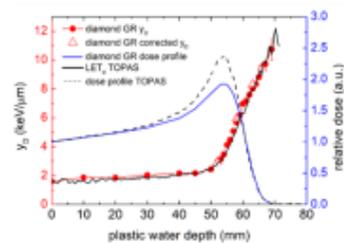


Remarkable normal-tissue tolerance, tumor-control similar or better PT
(Prezado et al. 2017,18,19, ERC)



Possible translation of pMBRT toward clinical trials

(De Marzi et al. 2018 MedPhys; Lansonneur et al. 2020, Sci. Rep.)



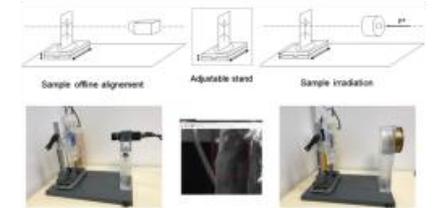
Dosimeter with high spatial resolution (new Diamond detector)

(Loto et al. 2021, Sensors)

Temporal optimisation of irradiation (FLASH)

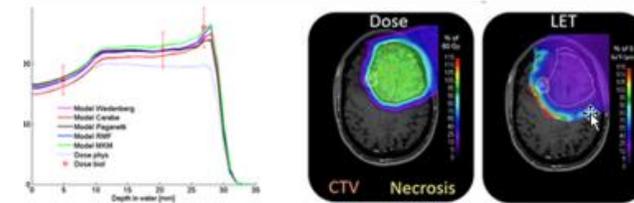
Experimental setup for FLASH preclinical studies

Biology Contribution
Experimental Set-up for FLASH Proton Irradiation of Small Animals Using a Clinical System
Annalisa Patriarca, PhD,¹ Charles Foulhiade, PhD,^{1,2} Michel Auger, MSc,¹ Frédéric Martin, MSc,¹ Frédéric Pouzoulet, PhD,¹ Catherine Nauraye, PhD,¹ Sophie Heinrich, PhD,¹ Vincent Favaudon, PhD, Samuel Heyroneinc, MSc,¹ Rémi Desdale, MD,¹ Alexandre Mazal, PhD,¹ Philip Poortmans, MD, PhD,^{1,3} Pierre Verrette, MD, PhD,^{1,4} and Ludovic De Marzi, PhD¹



Estimation of the risk of side effects

Estimate the risk of toxicity: dose computations + retrospective image analysis



RBE modelling for a SOBP, Dose and LET distribution for a clinical case***

Models predict RBE >1.1 for increased LET values in the Bragg peak, and distal layer is usually in healthy tissues: FLASH could have a significant impact.

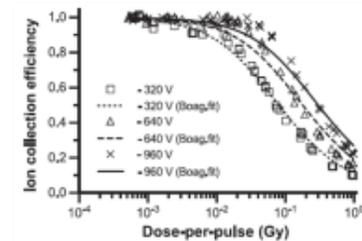
F Mégnin-Chanet, Institut Curie, CMIB

V Favaudon, Institut Curie, UMR3347/1021

Dosimeters for ultra-high dose-rates

Several challenges

- The dose per pulse in FLASH is 10 000 times higher than with conventional RT.
- No formalism for absolute dosimetry or accurate monitoring of the dose delivery.
- Boag theory not applicable, empirical parameterisation



New solutions to be tested at Inst. Curie (NPL Calorimeter, new IC...)

Examples
(research project)



Simulation
(radiation modelling)

Measurements
(radiation dosimetry)

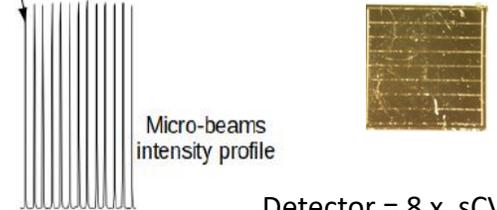
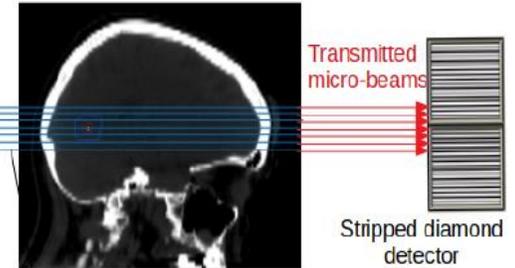
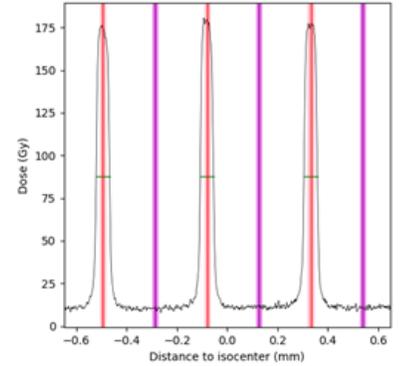
○ MRT: Microbeam Radiation Therapy @ ESRF :

- Faisceau RX Synchrotron (50-200 keV)
- Microbeam = faisceaux ~50 μm large, intenses (~10 kGy/pic), espacés de 400μm
→ Tolérance des tissus sains jusu'à doses 600 Gv dans le pic!
- Essais clin

○ Moniteur
ligne de la

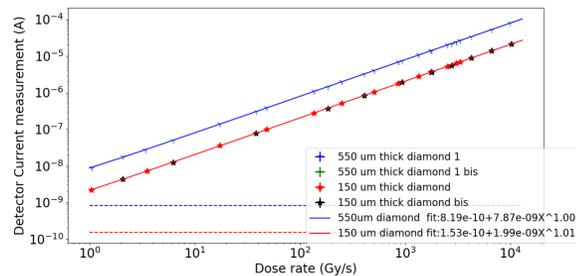
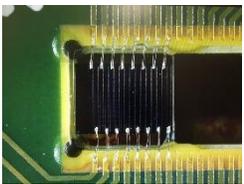
Autre sujet équipe STROBE sur la MRT:
Présentation Sarvenaz KESHMIRI @ 9h57

- Diamant s
- Electronique (*FE QDC + ASIC*) développée @LPSC: dynamique++

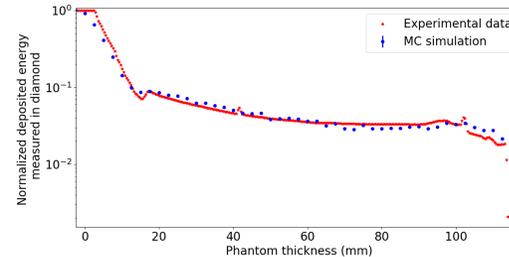


Detector = 8 x sCVD
(4.5 × 4.5 mm²)
strip metallized

Prototype 32 voies – Juillet 2021



Excellente linéarité débit dose 1 – 10 kGy/s



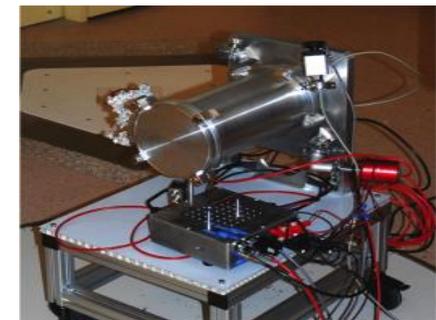
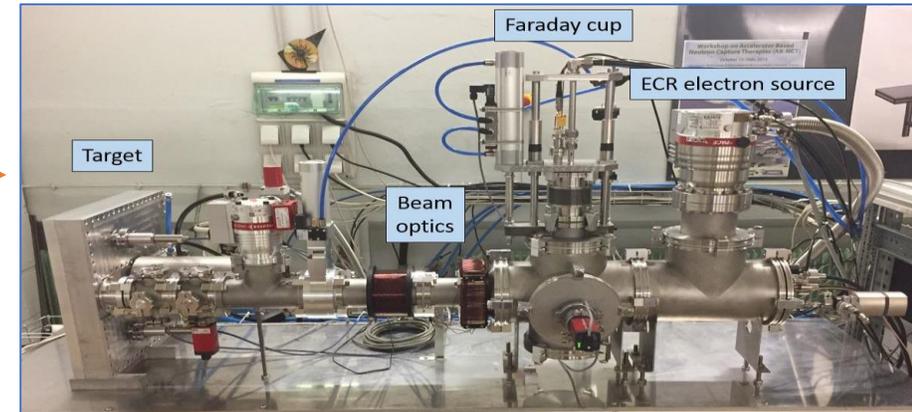
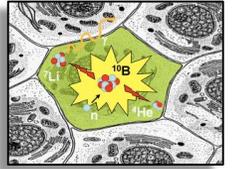
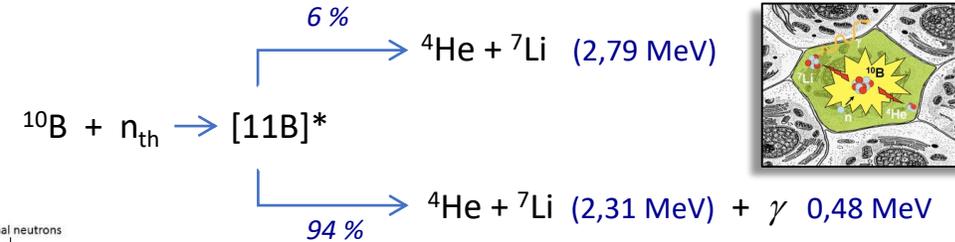
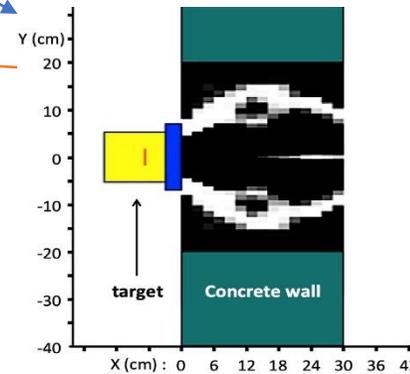
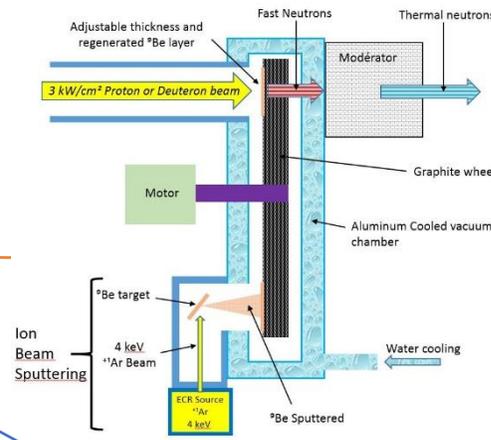
Bon accord d'Edep MC – exp en condition MRT

BNCT : « Capture neutronique par le bore »

LPSC : S. Chabod, V. Ghetta, J. Giraud, O. Guillaudin, J. Marpeau, J.F. Muraz, N. Sauzet, R. Delorme, D. Santos

IAB : L. Sancey, J-L. Coll (*cf. presentation Monday 14h30*)

- Original Targets for neutron production (*Be + 1,5MeV D or liquid Li + 1,9MeV p*) coping with 3 kW/cm²
- Target Thermal Test Facility
- Optimal Moderators Design and Fabrication defining an epithermal Neutron Field
- Directional and Mobile Neutron Spectrometer (10 keV- 20 MeV) MIMAC-FastN
- Active Phantoms
- New project LPSC-IRSN: define a reference epithermal neutron field

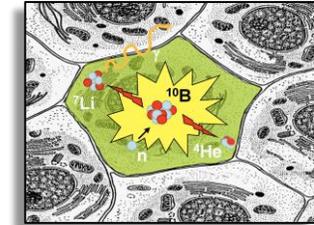


rachel.delorme@lpsc.in2p3.fr

○ **Objectif** : Prédiction de dose biologique pour les radiothérapies ciblées : BNCT & RIV- α

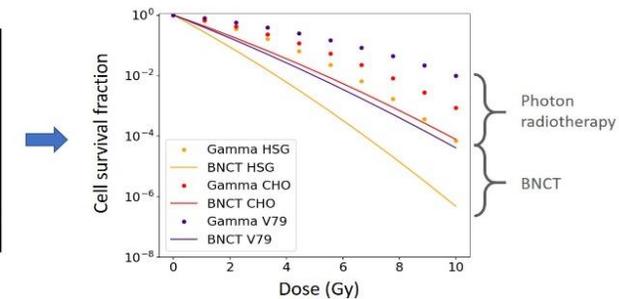
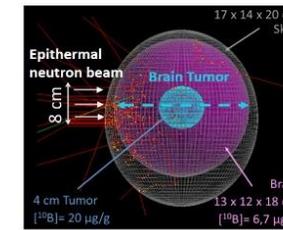
○ **Contexte** :

- Ions α et ${}^7\text{Li}$ de très haut TEL (60 – 300 keV/ μm) et faible parcours (5 – 100 μm)
- Grande **hétérogénéité de distribution** au niveau cellulaire \rightarrow impact sur l'effet biologique!
- Besoin d'outils adaptés de prédiction d'effet biologique



○ **Méthodes** :

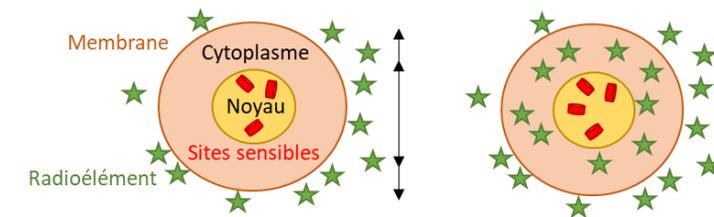
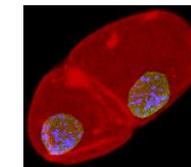
- Couplage simulations numériques **multi-échelles** (*Geant4-DNA, GATE*) et **modèle biophysique** (*NanOx*), à adapter pour les basses E.
- Expériences dosimétrie & radiobiologie sur ALTO (*démarré été 2021*)



Ex. traitement BNCT tumeur cérébrale: prédiction de survie cellulaire en fonction de la profondeur de tumeur & lignée cellulaire.

○ **Questions** :

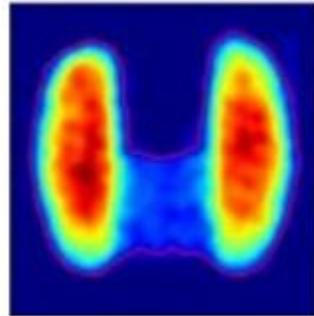
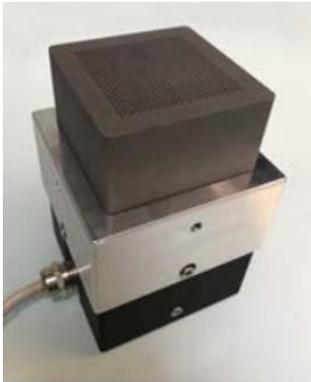
- Impact hétérogénéité du radioélément/bore au niveau cellulaire ?
- Impact géométries cellulaires réalistes (images μscopie) sur prédictions ?
- Quid des dommages au cytoplasme/membrane cellulaire ?
Vers un modèle à plusieurs volumes sensibles...



Projet INCA-PCSI mars-2021 – 2024 : 2 postdocs 30 mois + 1 doctorant

Radiothérapie interne

Contrôle de la dose en radiothérapie interne



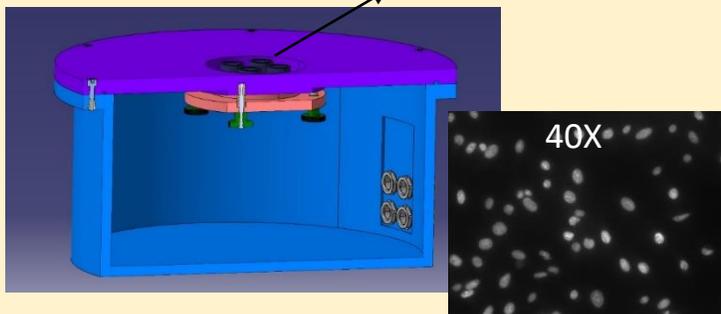
Cf. Presentation Marc-Antoine VERDIER @ 14h30

γ Caméra ambulatoire haute résolution pour le contrôle de la dose absorbée durant le traitement des maladies thyroïdiennes à l'iode-131

Thérapie vectorisée

- Dosimétrie alpha avec détecteur Si
- Information dose / puits au niveau cellules en temps réel
- *Projet MITI DEDVIRA*

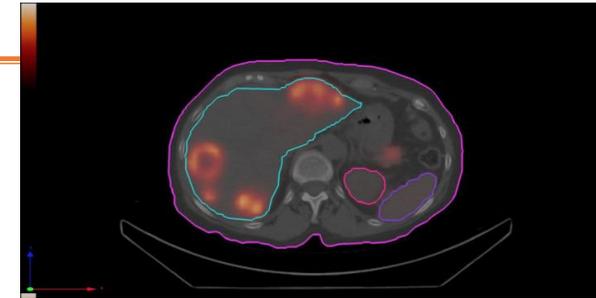
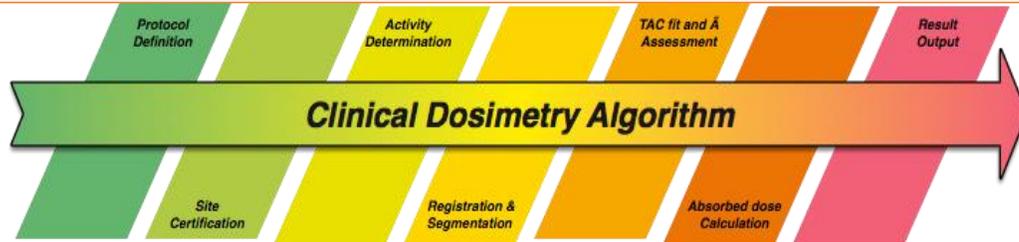
Puits de culture cellulaire



- 1 thèse CEA débutée en 2020
- Perspectives
- → Emetteurs β
- → Distributions de dose 2D
- Autre projet : Production radio-isotopes émetteurs α @NFS

Cf. Présentation Alexis DOUDARD (Lundi 11h)

- Considérer l'ensemble de la chaîne dosimétrique:



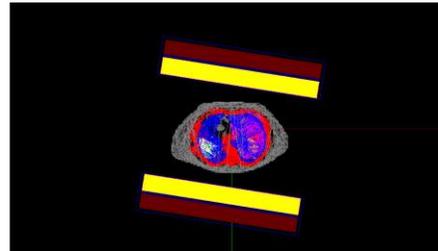
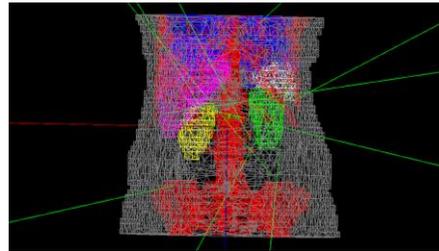
Bardiès and Gear Clin Oncol 2020 33(2):117-124

Mora Ramirez *et al.* Med Phys 2020 47(9):4602-15

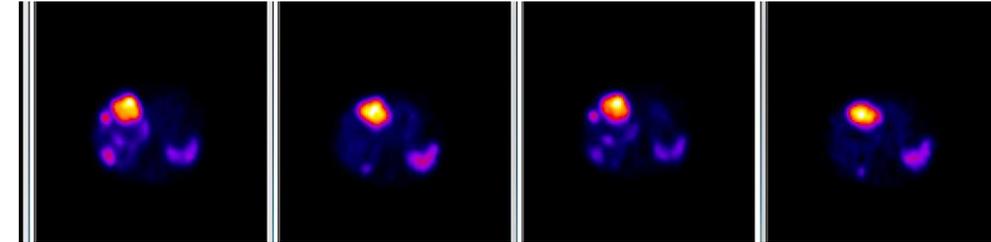
- Evaluer les incertitudes associées à la dosimétrie clinique



www.dositest.org



Kayal *et al.* EANM 2020

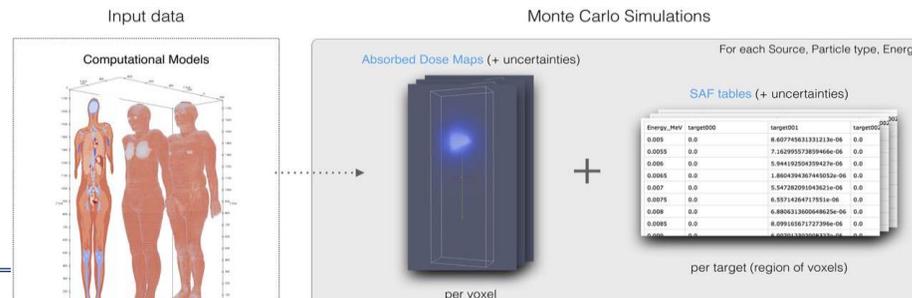


Kayal *et al.* Phys Med 2021 85:24-31

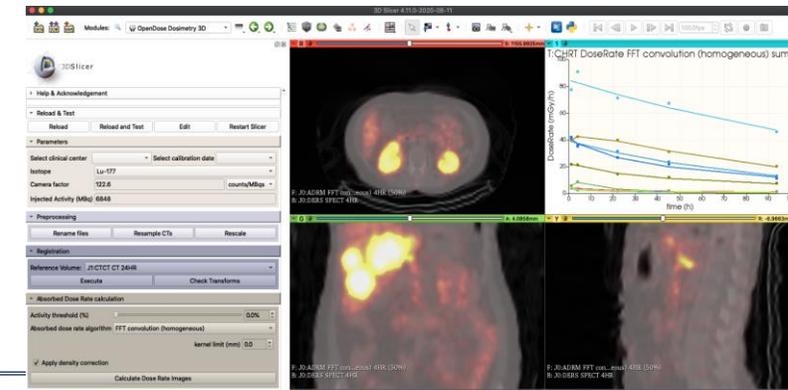
- Générer des ressources dosimétriques libres pour la communauté



www.opendose.org



Chauvin *et al.* JNM 2020, 61 (10) 1514-19



Vergara Gil *et al.* EANM 2020

Actions du Pôle Bilan 2021 et perspectives 2021/2022

Bilan & Perspectives

- **Journée IRSN 2 Juillet 2021**, renouvellement de l'accord cadre CNRS - IRSN (2020-2024) : présentation des activités du pôle.
 - Objectif identifier des axes et projets de collaboration communs pour les années à venir...
- ➔ « Sous-Atelier 3 » : **7 octobre 8h30-10h30** :
"L'irradiation externe : depuis les nouvelles modalités d'irradiation jusqu'à l'imagerie et à la dosimétrie patient" (*Christelle HUET, Nicolas ARBOR*)
- ➔ « Sous-Atelier 4 » : **7 octobre 11h-13h** :
"L'irradiation interne : de la production des radionucléides jusqu'à l'imagerie et à la dosimétrie patient" (*Stéphanie LAMART, Ferid HADDAD*)
<https://indico.in2p3.fr/event/23651/>
- **26 Novembre 2021**: Journée de travail au CNAO (*hadronthérapie, BNCT*) ➔ Cf. Intro Denis Dauvergne
(*partenariat IN2P3 – CNAO...*)
- **14-16 Mars 2022** (Montpellier): Séminaire Radiothérapie Interne Vectorisée !
Coorganisé par les pôles « radiothérapies innovantes », « Radionucléides » et SFPM.
➔ Manuel BARDIES

Séminaire GDR MI2B: Radiothérapie Interne Vectorisée

Institut de Recherche en
Cancérologie de Montpellier

14-16 mars 2022

Manuel Bardiès, Rachel Delorme, Ferid Haddad, Ali Ouadi, Ludovic Ferrer

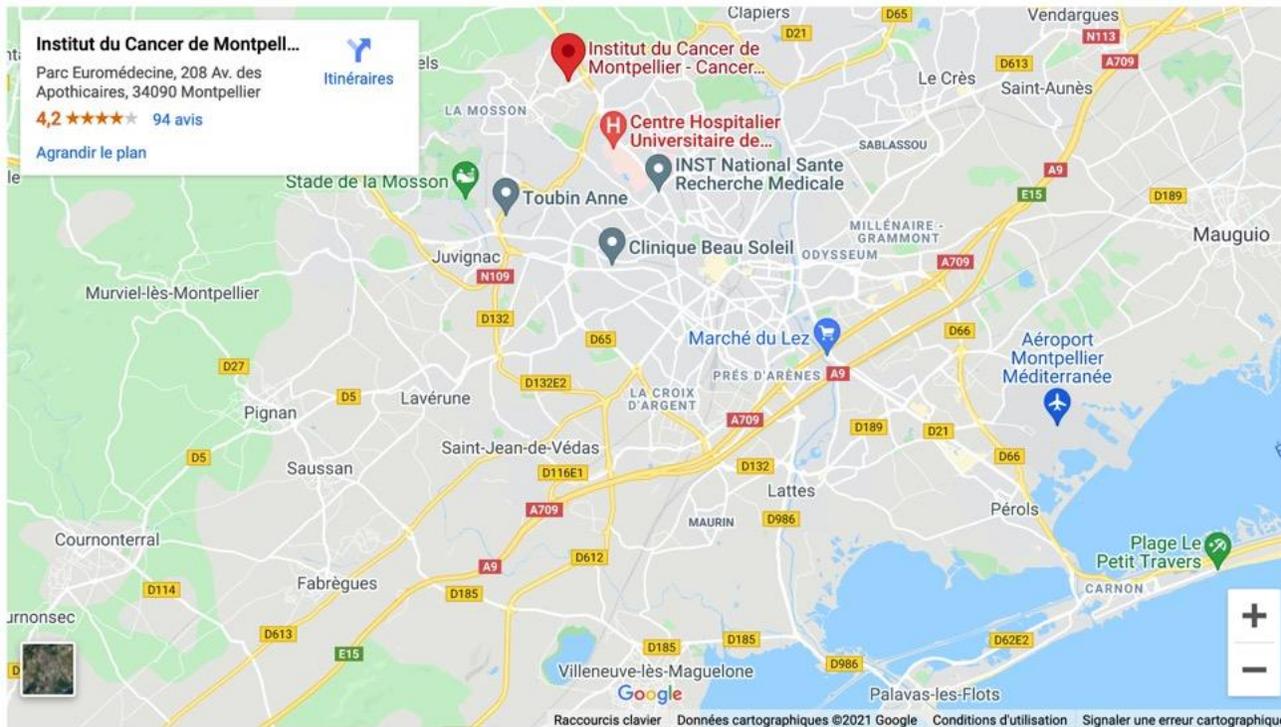


Workshop "Radiothérapie Interne Vectorisée"

Institut de Recherche en Cancérologie de Montpellier

14-16 mars 2022 *en présentiel*

U1194 INSERM/Institut du Cancer de Montpellier/Université de Montpellier



Vous arrivez par l'autoroute

Côté Ouest : Sortie n° 32 "Saint Jean de Védas". Suivre Montpellier Centre, La Mosson, Ganges

Côté Est : Sortie n° 29 "Montpellier Est". Suivre Antigone, Millau, Hôpitaux-Facultés, Ganges. Puis prendre direction Parc Euromédecine, Ganges.

Vous arrivez depuis le centre ville de Montpellier

Prendre direction Hôpitaux-Facultés, Ganges.

Vous arrivez par le train ou les transports en commun

Prendre le tramway direction "Mosson" (Ligne 1), puis descendre à la station "Occitanie". Continuer par le bus n° 6 jusqu'à l'arrêt :

"Les Antennes" pour le bâtiment A

"Val d'Aurelle" pour le bâtiment B

Objectif & thématiques

Sensibiliser le public* sur « tous » les aspects de la RIV et ses enjeux

4 sessions

- **Lundi 14 mars après-midi: Enjeux cliniques**
- **Mardi 15 mars matin: Vecteurs et radionucléides**
- **Mardi 15 mars après-midi: Dosimétrie**
- **Mercredi 16 mars matin: Radiobiologie**

***Public:** membres GDR + Physiciens médicaux



Communications invitées

- Emmanuel Deshayes (MCUPH ICM Montpellier)
Enjeux et perspectives de la RIV
- Anne-Laure Giraudet (PH CLB Lyon)
Radio-Peptides thérapie/Tumeurs solides/Actualités RIV
- Elif Hindié (PUPH CHU Bordeaux)
Theragnostic et RIV
- E Garin (PUPH CEM Rennes) (à confirmer)
Radiothérapie interne sélective

+ Appel à communications (15/20 min)



Vecteurs et Radionucléides

Communications invitées

- Uli Koester (ILL Grenoble)
Production d'isotopes
- Tony Lahoutte (Bruxelles) (à confirmer)
Vecteurs (AcM, nanobodies, ...)
- Aline Nonat (Strasbourg) (à confirmer)
Radiochimie, ligands
- Michael Bourgeois (Nantes)
Radiopharmacie et bonnes pratiques de fabrication

+ Appel à communications (15/20 min)



Communications invitées

- Manuel Bardiès (IRCM Montpellier)
Enjeux de la dosimétrie
- Ludovic Ferrer (ICO Nantes)
Expérience Nantaise
- Lore Santoro (ICM Montpellier)
Expérience Montpelliéraine
- ?(en cours)
Dosimétrie préclinique/échelle cellulaire/alpha

+ Appel à communications (15/20 min)



Communications invitées

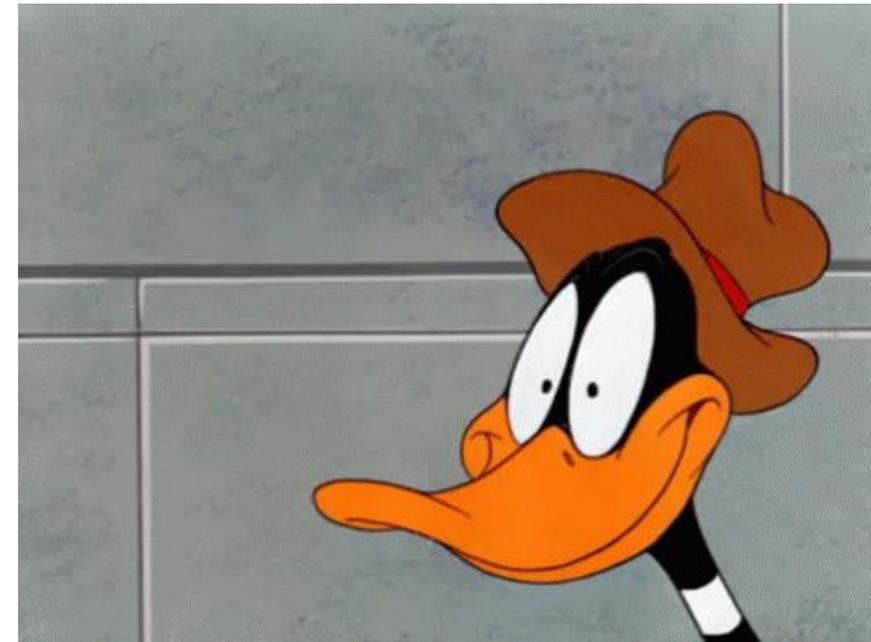
- Marta Cremonesi (IEO, Milan)
Introduction de la radiobiologie en clinique
- Jean-Pierre Pouget (ICRM, Montpellier)
Spécificité de la radiobiologie de la RIV
- Joëlle Gaschet (IRCINA, Nantes)
Immunologie et réponse aux radiations
- Hervé Seznec (CENBG, Gradignan)
Radiobiologie et irradiation externe

+ Appel à communications (15/20 min)



En cours

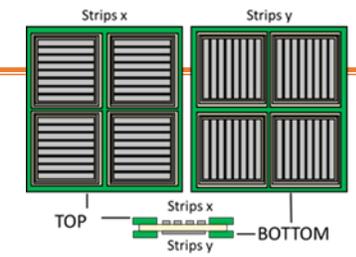
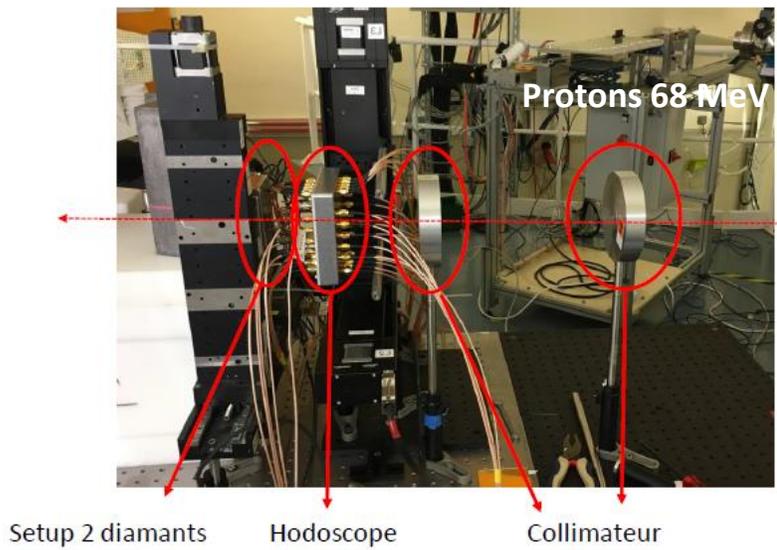
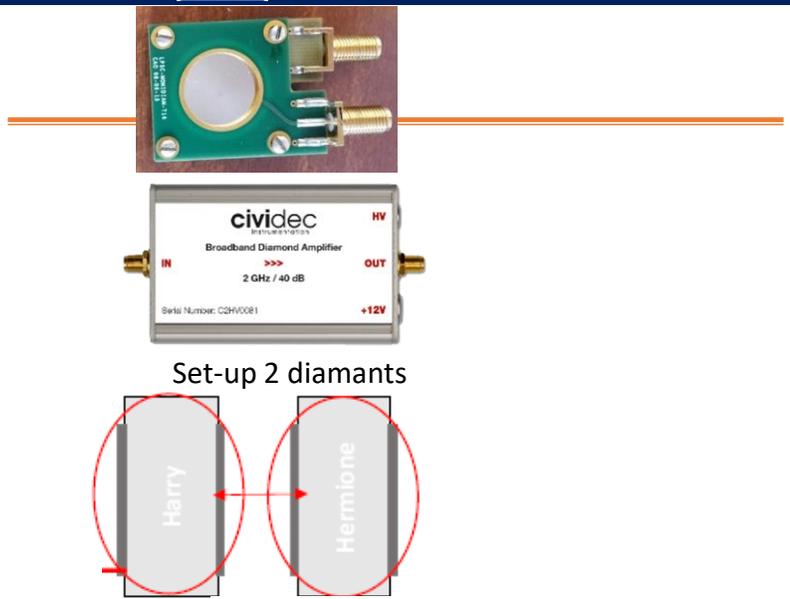
- Organisation pratique (hébergement, repas, etc.)
- Programme affiné
- Appel à communications
- Recherche de sources de financement!!!!



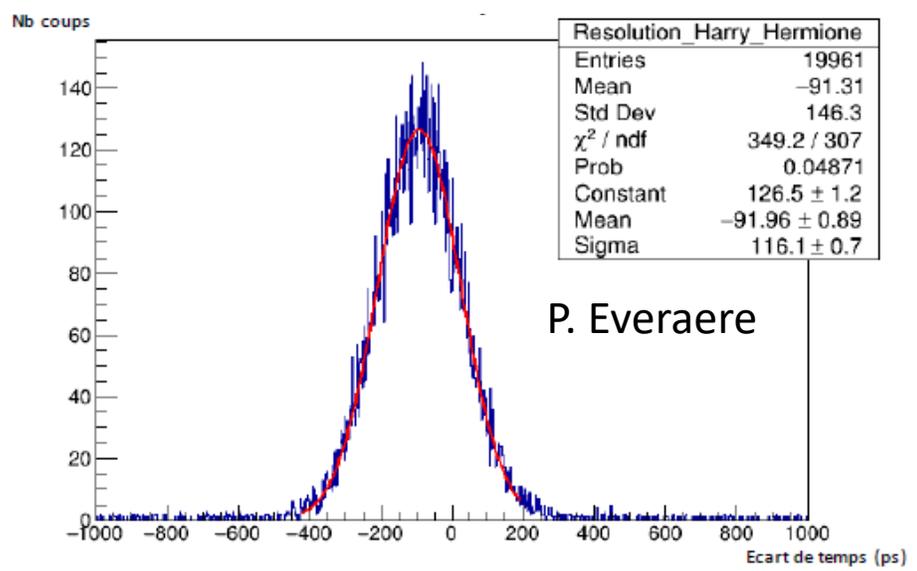
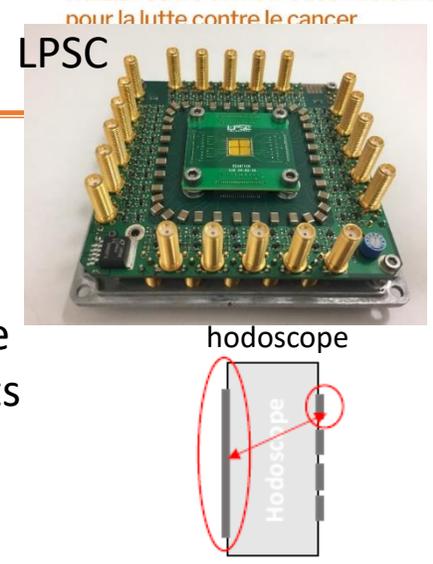
Stay tuned...



Merci à tous les contributeurs!



40 voies de lecture
Matrice 4 diamants
sCVD + elec FE

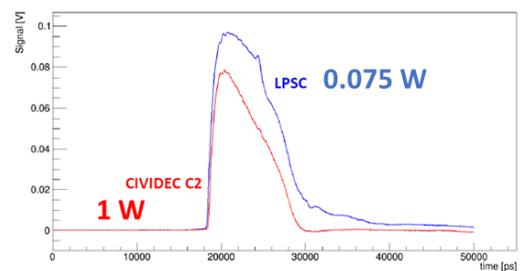


Résolution temporelle entre les deux diamants monocristallins pleine face de **116 ps**

Test ARRONAX Juillet 2021

Validation matrice diamant + préampli LPSC

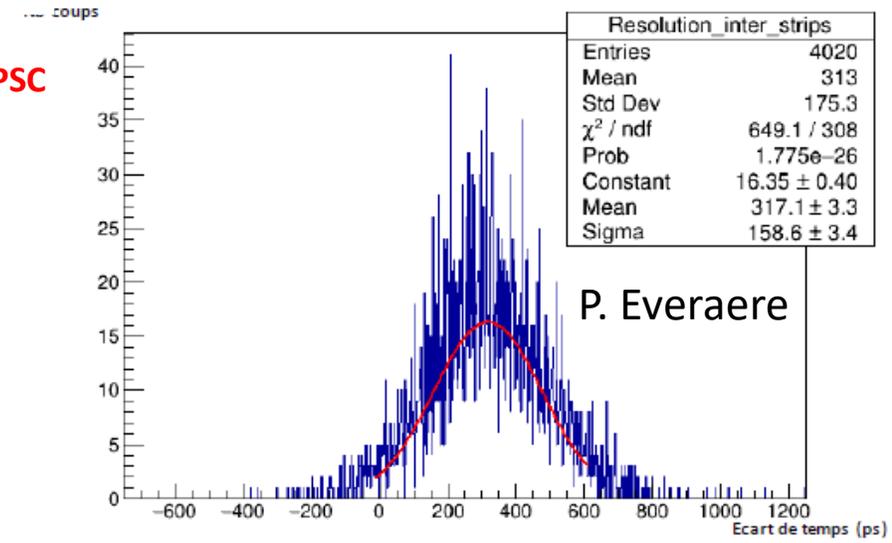
Préamplificateurs



C. Hoarau et al 2021 JINST 16 T04005

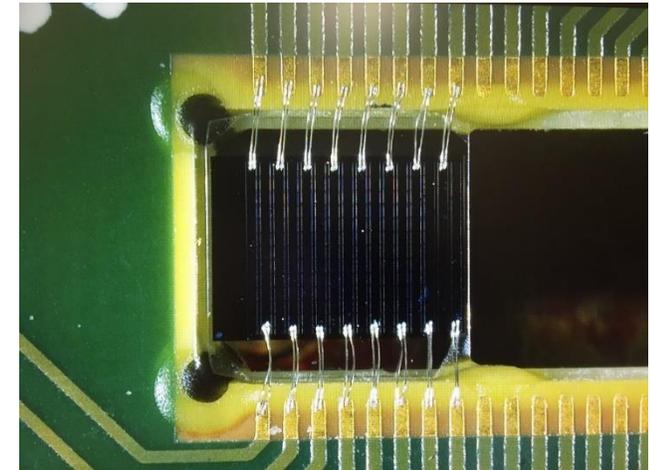
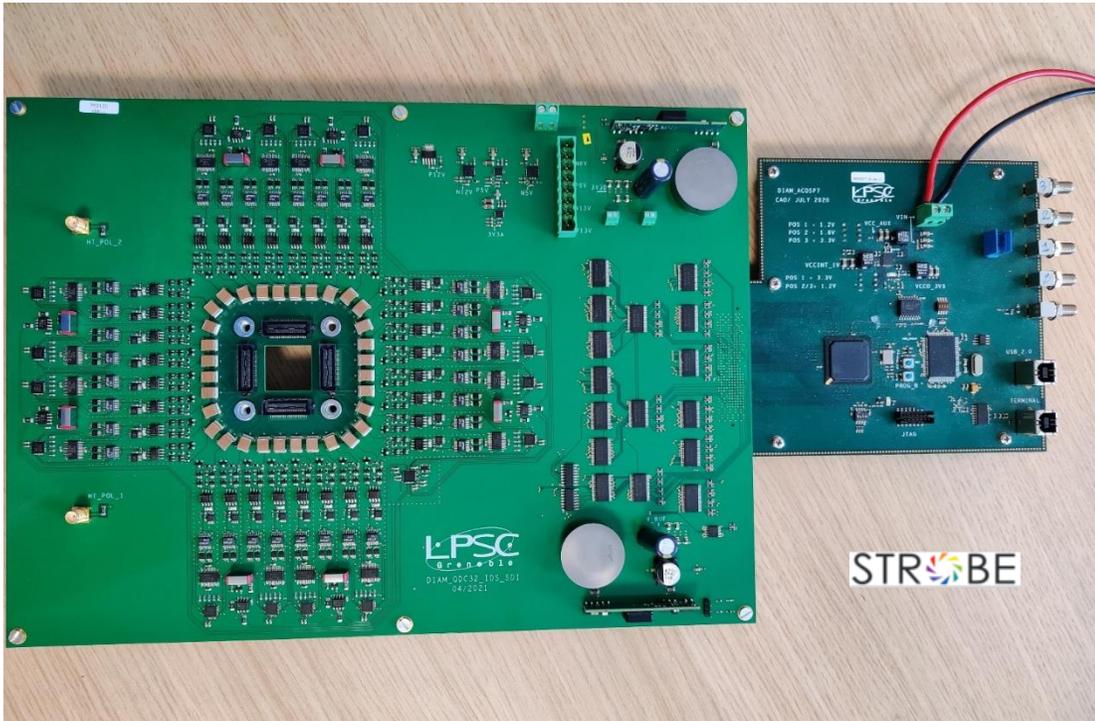
Hodoscope faisceau

S. Curtoni PhD <http://www.theses.fr/2020GRALY045>
S. Curtoni et al, accepté pour publication dans NIM A
<https://arxiv.org/abs/2105.05053>



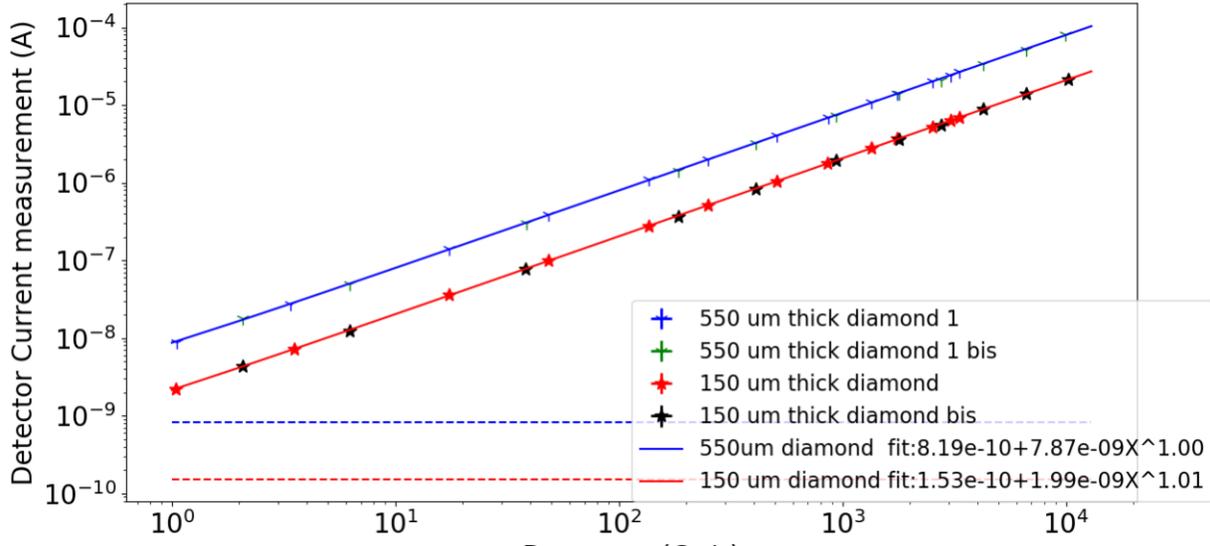
Résolution temporelle entre deux strips TOP/BOTTOM d'un diamant de la matrice de **158.6 ps**

- Radiothérapie microfaisceaux X: microfaisceaux (50µm) intenses (~10 kGy/s), $\langle E \rangle \sim 120$ keV, espacés de ~400µm
- La dose dans les vallées détermine la tolérance des tissus sains
- Programme vétérinaire en cours
- ➔ Nécessité d'un détecteur portal pour contrôle en ligne des traitements



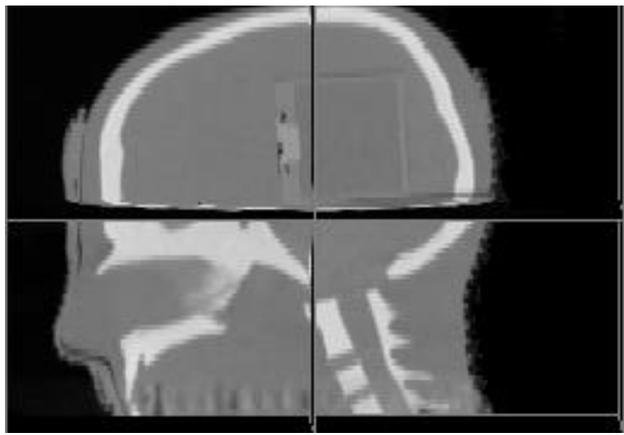
Le détecteur IDSYNCHRO : matrice diamant 1D + QDC + ACQ : 32 voies prototype 1 – Juillet 2021





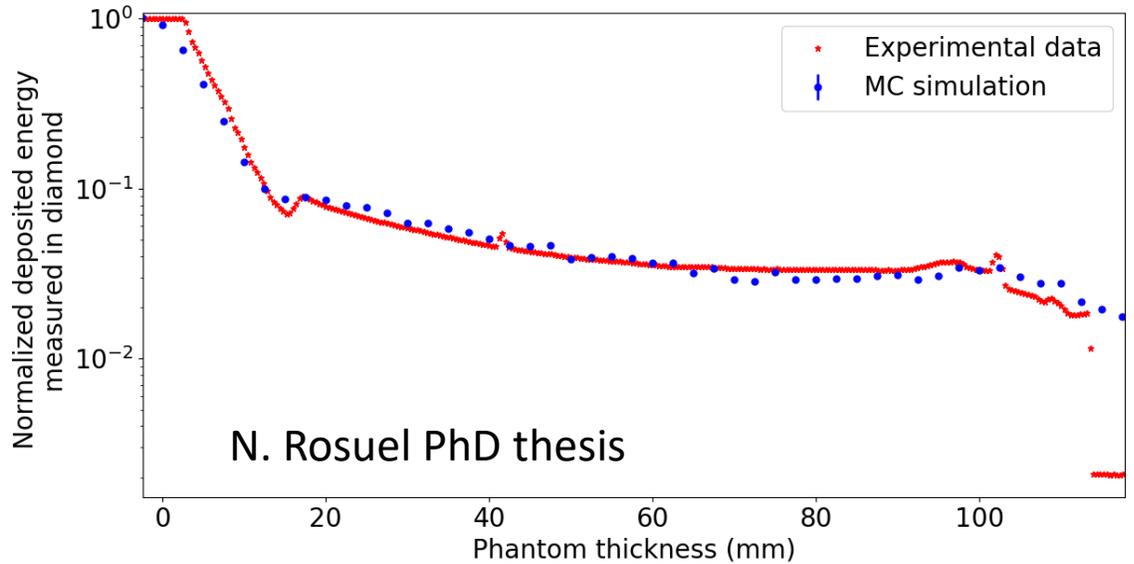
Utilisation du 1^{er} prototype en condition MRT

0 cm
40 mm/s

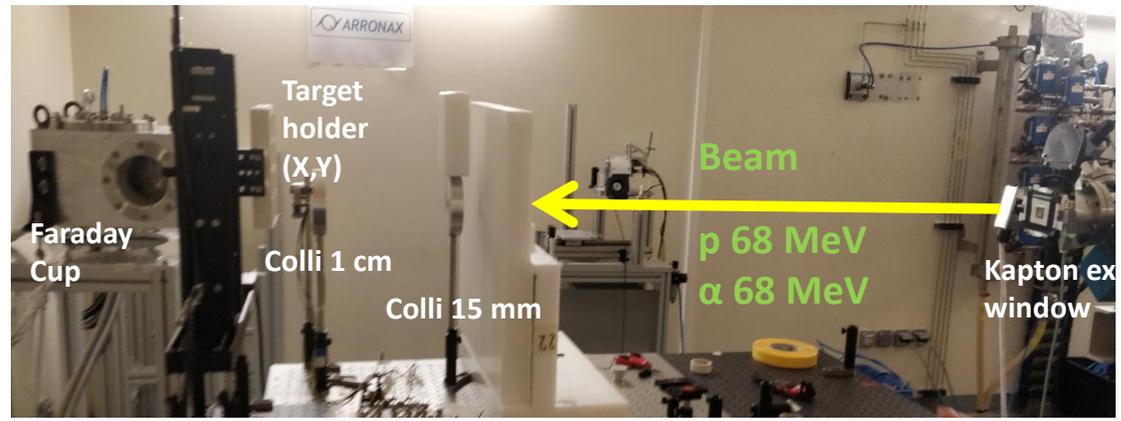


Caractérisation des diamants

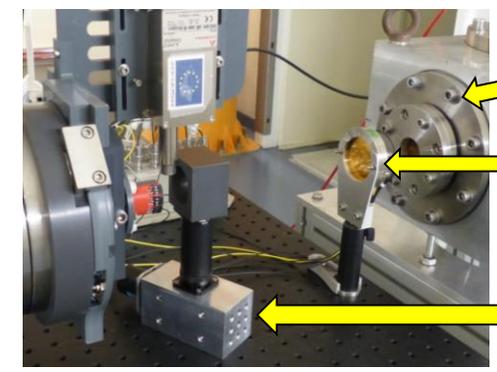
- Mesure sur diamant monopixel (pas de pistes)
- Pas de perte de linéarité en fonction du débit de dose (débit dose mesuré sur le diamant)
- Tests diamant de 150 et 550 μm d'épaisseur



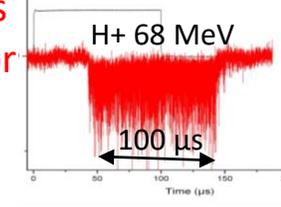
Experimental setup and beam characteristics



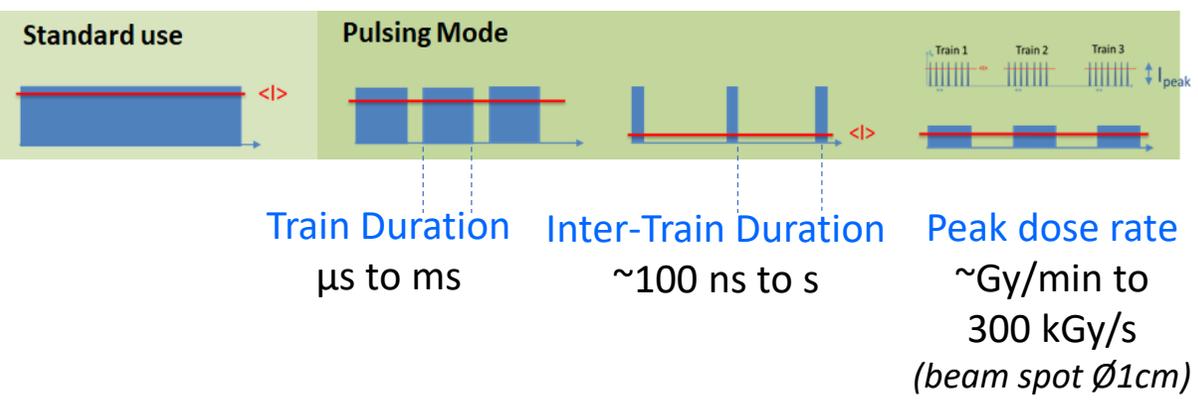
Beam monitoring for Flash irradiation @Arronax



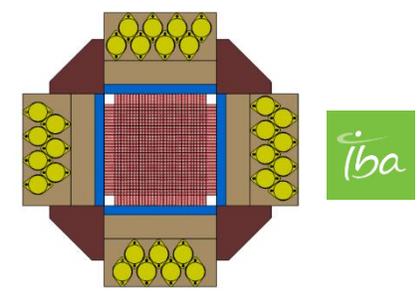
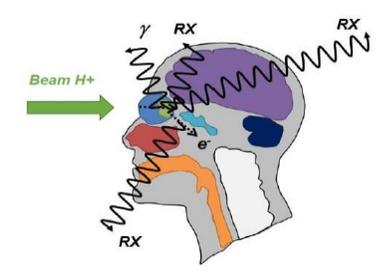
Faraday Cup (golden reference)
 Ionisation chamber for conventional dose rate
 PM detect UV photons excited N molecules for Flash irradiation



Pulsing system installed to modify the beam structures:



- + DIAMMONI (LPSC)
- Ion range monitoring **Bremsstrahlung** :
 → Info beam E + target heterogeneity



Ralite et al., "Bremsstrahlung X-rays as a non invasive tool for ion beam monitoring", Nuclear Instruments and Methods in Physics B (2021).

- New online monitor for **FLASH** (under development)

○ PRECy (Strasbourg)

- **Beams:** proton (0-25 MeV)
- **Pulsed or continuous beams**
- **Dose rate:** few 0.1 Gy/min to 50 Gy/s
- **Irradiation:** plateau – SOBP, field 2-20mm
- in vivo & in vitro exp. with designed sample support

○ Future Developments:

- Toward **Flash proton** (> 100 Gy/s) irradiation:
- Will benefit from developments of LPC-Caen for very high-dose rate beam monitoring
- Development of **alpha-irradiation**

→ Objectives of both platforms: **enable within 3 years FLASH-p/ α irradiation, with modeling and dosimetry support, to start biology experimental program.**

