

CLaRyS – S2C2

LPSC: D. Dauvergne, M.-L. Gallin-Martel, L. Gallin-Martel, S. Otmani (doc)

IP2I: É. Testa

CREATIS: J. M. Létang

CAL: M. Vidal

Objectifs et défis scientifiques

- Contrôle en ligne de l'hadronthérapie dans le **cas particulier des faisceaux de protons pulsés** sur synchro-cyclotron, à l'échelle d'un spot faisceau
- Mesure des **rayonnements secondaires prompts**:
 - Sans collimation
 - Sans discrimination par temps de vol ou forme de signal
 - **Intégration de l'énergie déposée dans un petit nombre de détecteurs de grande efficacité** ($\sim 10^{-3}$ de 4π)
- Défis: dispositif de détection en conditions cliniques à haute intensité instantanée (faisceau $1\ \mu\text{A}$ pendant $7\ \mu\text{s}$ toutes les $1\ \text{ms}$, +HF de période $16\ \text{ns}$)
 - Linéarité de la charge en sortie de scintillateur + PMT
 - choix de détecteurs rapides et peu lumineux (PbWO_4 : $2,5 \times 2,5 \times 5\ \text{cm}^3$), PMT rapides (R11265-U100)
 - Carte d'intégration de charge réalisée au LPSC
 - Rôle des différents rayonnements secondaires (neutrons, protons, gammas): compréhension par simulations MC

Structure du projet

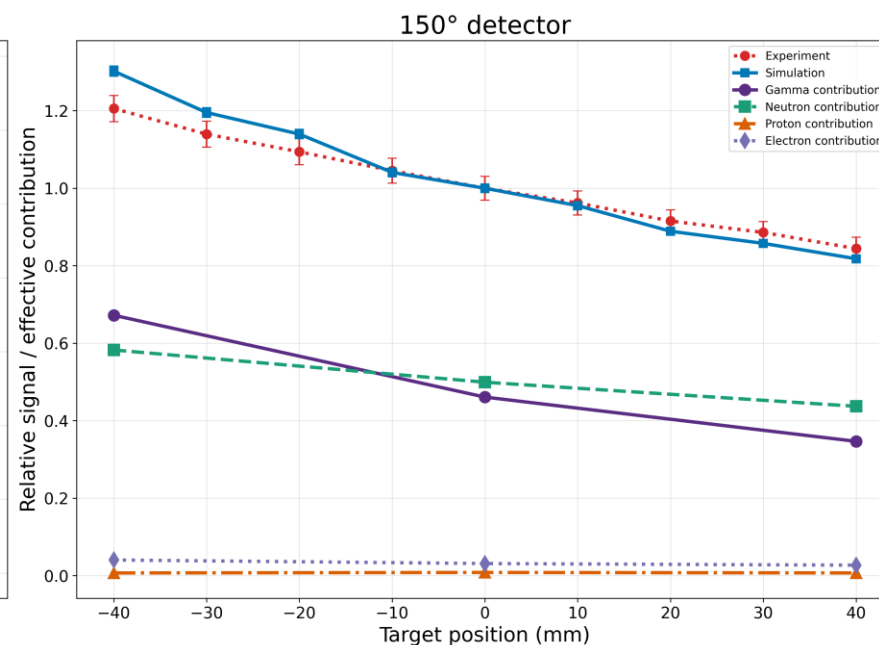
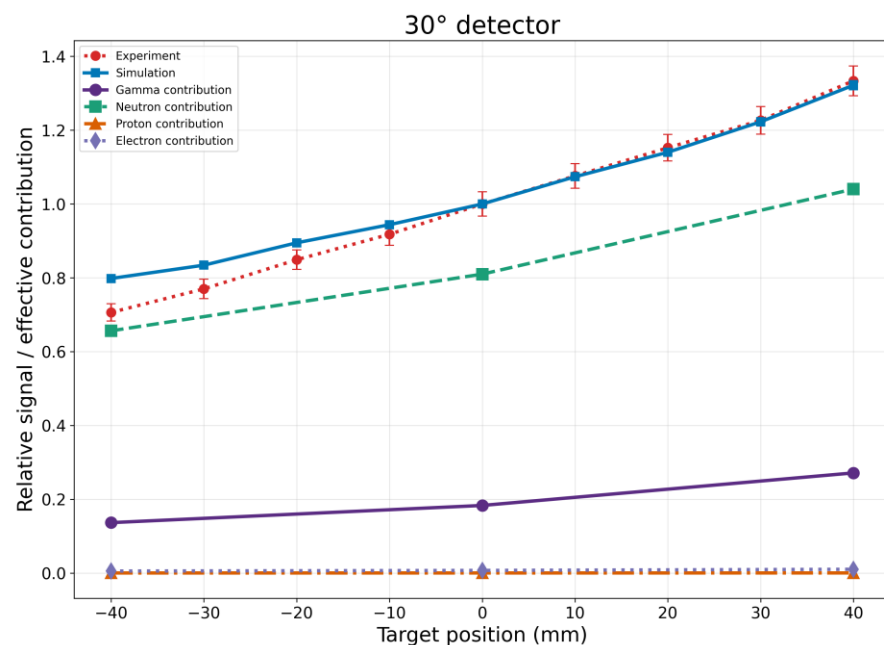
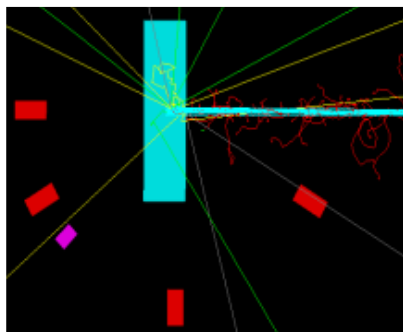
- Personnes et laboratoires impliqués (IN2P3 et associés) et leur rôle
 - LPSC: Dauvergne, ML Gallin-Martel, L. Gallin-Martel, S. Otmani (doc)
 - IP2I: E. Testa
 - CREATIS: J M Létang
 - CAL: M. Vidal
- Collaborations nationales et internationales
 - Pas encore, intérêt LMU?
- Plateformes
 - Arronax (basse énergie, protons pulsés ou basse intensité)
 - CAL-Nice (Médicyc en faisceau continu, Proteus One: irradiations selon plans de traitement)
 - ESRF- BM5 (calibration en énergie) + GENESIS (réponse neutrons)
- Partenaires industriels
 - Partenaire clinique CAL
- Déroulement du projet
 - Travaux préliminaires (thèse P Everaere LabEx PRIMES, article Frontiers 2024)
 - Thèse MITI 80PRIMES + environnement 2023-2024: achat équipement et fabrication carte d'acquisition (soutien LabEx PRIMES)
 - Expériences ESRF-CAL-Arronax entre 2024 et 2026 (soutien LabEx PRIMES pour accès faisceaux)

Faits marquants 2025/26

Nouveaux résultats scientifiques

- Expériences à 68 MeV (Arronax: compréhension exhaustive avec différentes contributions (dont production en amont de la cible) → Poster PTCOG 2026

Relative variation in the experimental and simulated data and relative effective contribution in the energy deposited by each type of particles

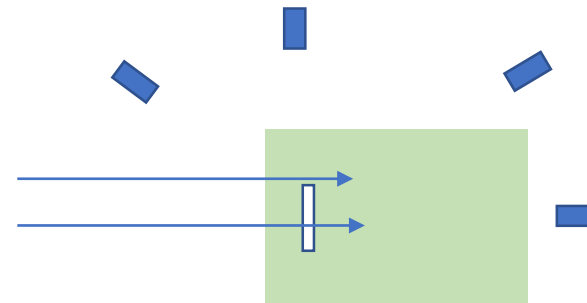


Déplacement longitudinal

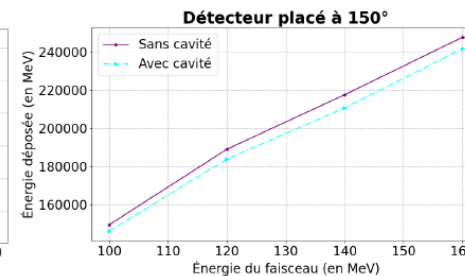
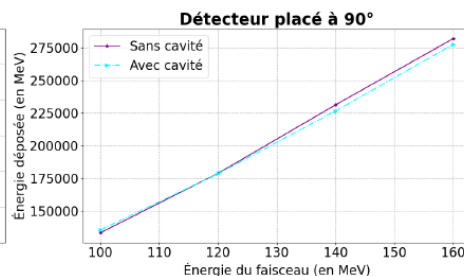
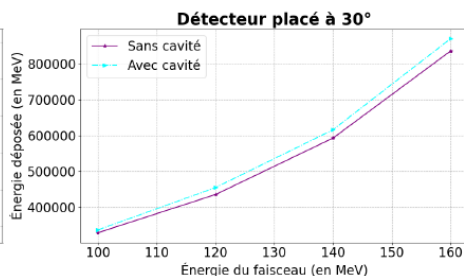
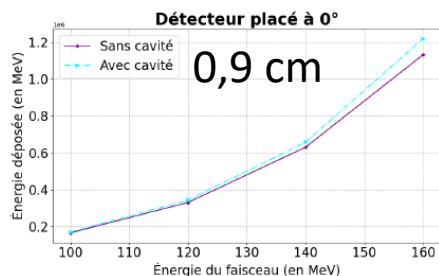
Faits marquants 2025/26

- Expériences en conditions cliniques sur PROTEUS-One au CAL:

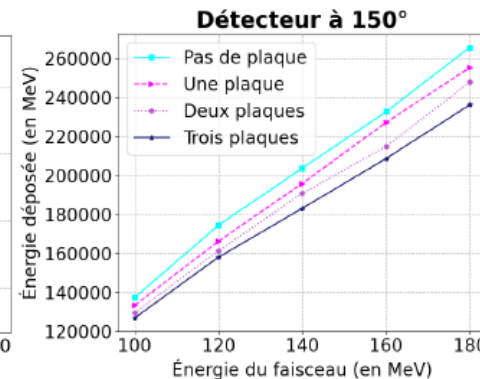
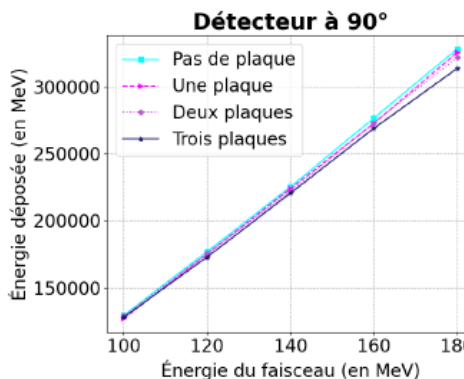
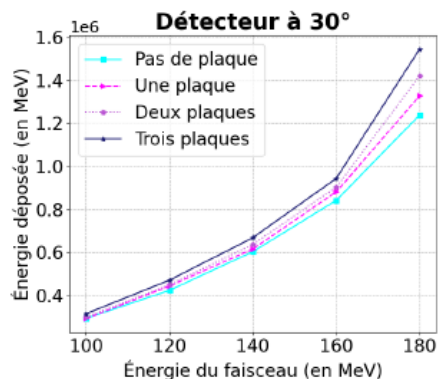
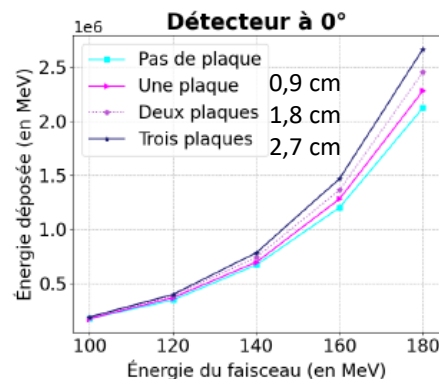
- Fantôme homogène PMMA avec insertion de cavités d'air
- Irradiations 20 Gy avec et sans cavités, différentes énergies



Exp



Simus



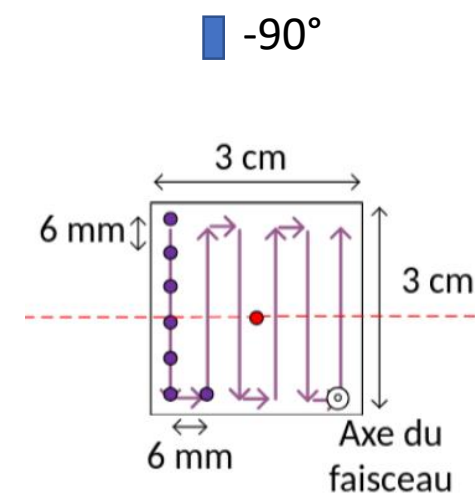
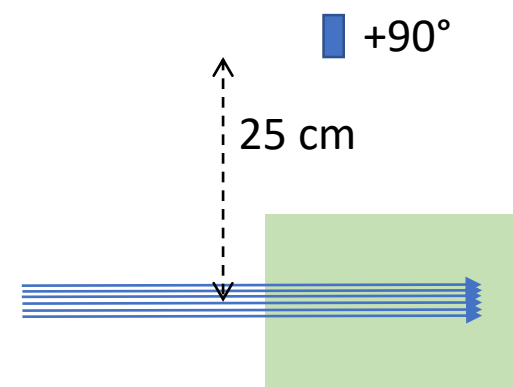
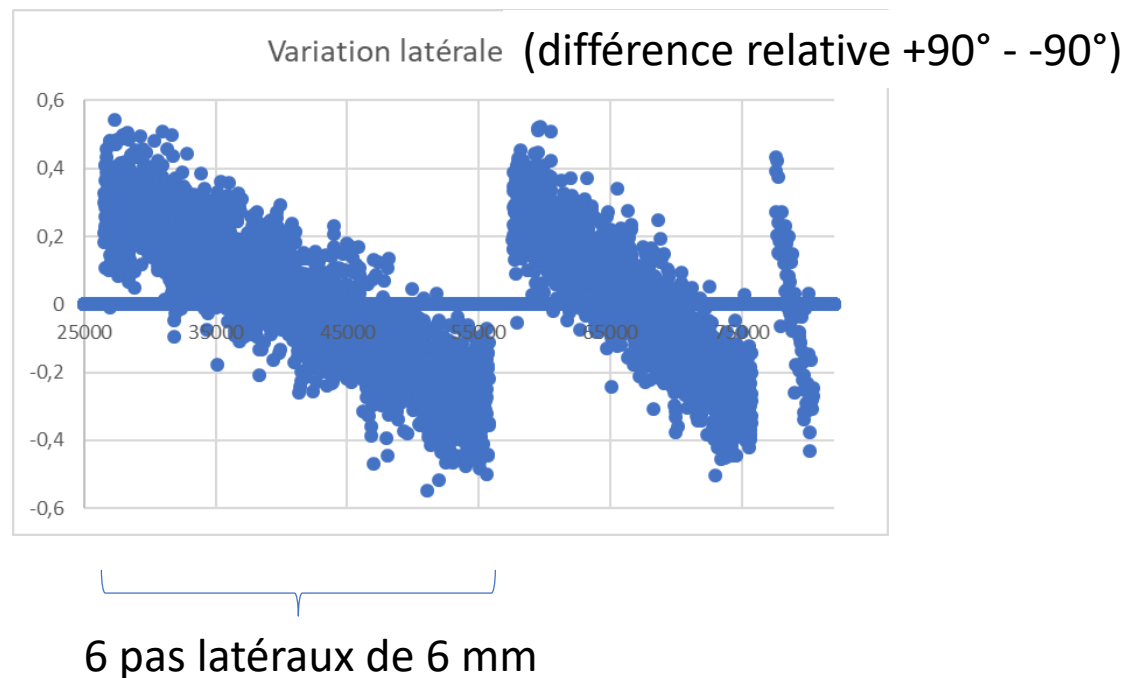
→ Une cavité de 9 mm est détectable à 20 Gy pour $\epsilon = 8 \times 10^{-4}$

Faits marquants 2025/26

- Expériences en conditions cliniques sur PROTEUS-One au CAL:

- Fantôme homogène PMMA

Irradiation 20 Gy avec faisceau 180 MeV monoénergétique (parcours 18,1 cm),
surface irradiée 3x3 cm²



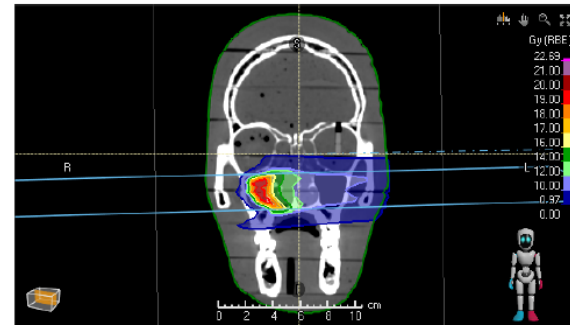
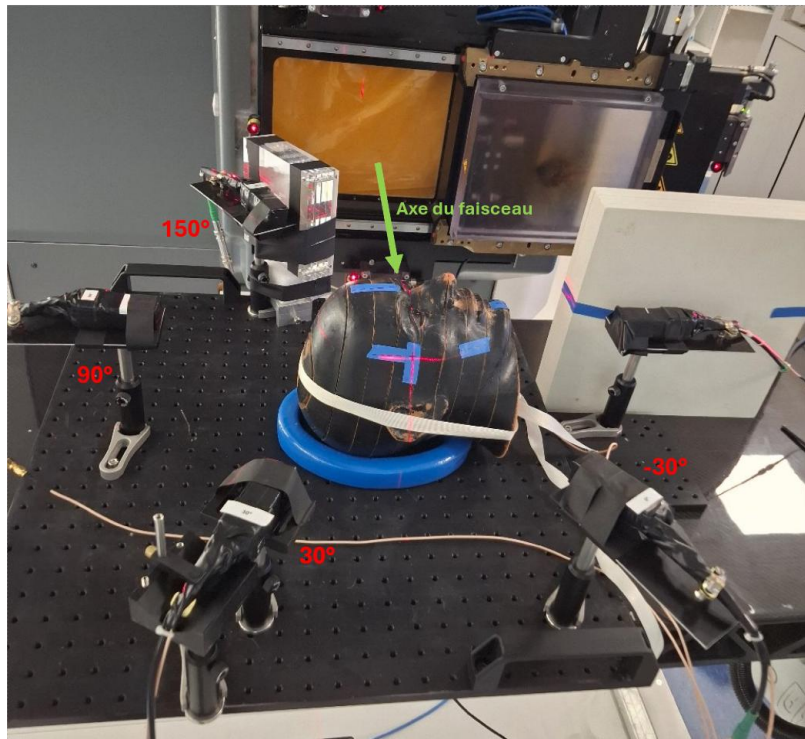
→ Résolution latérale par spot de 7 μ s = 5 mm rms

→ 1 pas latéral = 450 spots de 7 μ s: résolution par pas latéral = 0,2 mm rms

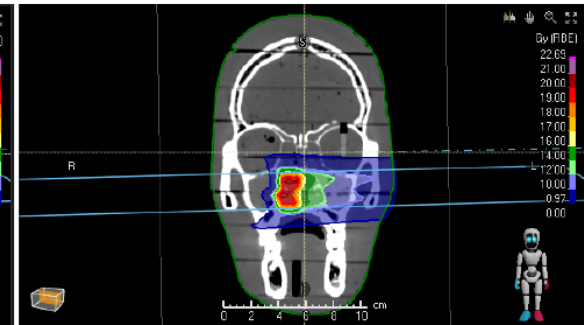
Faits marquants 2025/26

- Expériences en conditions cliniques sur PROTEUS-One au CAL:

- Fantôme anthropomorphique – remplissage d'un sinus



(a) Irradiation avec un sinus rempli.



(b) Irradiation avec deux sinus remplis.

Position angulaire	Simulation (en %)
-30°	-5,7 ± 0,10
30°	-4,7 ± 0,11
90°	+0,57 ± 0,13
150°	+2,1 ± 0,08

Mesures en accord avec
les simulations (chiffres
à consolider)

Vision 2030

- La méthode PGEI, utilisant l'ensemble des rayonnements secondaires prompts, est efficace pour un monitoring en ligne sur faisceau Proteus-One (CAL, CyclHad), à l'échelle de quelques mm par spot faisceau
- 2026-2027: Vérification et publication des résultats
- Un démonstrateur est fonctionnel (la taille est pratiquement suffisante pour un prototype)
- Pour un suivi en temps réel de traitements: comparaison avec simulations basées sur TPS. Des discussions doivent être engagées avec un fournisseur de TPS
- La méthode PGEI est adaptable aux faisceaux non pulsés (même charge à intégrer), moins compétitive que PGPI et PGTI si le ToF peut être appliqué (cyclotrons): intérêt pour les synchrotrons (HIT, CNAO, MedAustron)

Nouvelles collaborations

- Ouverts

AaP en cours et visés (2-5 ans)

Besoins 2027

- Budget: réunions stratégie à venir, présentation à congrès: 2 k€
- CDD
- ...