



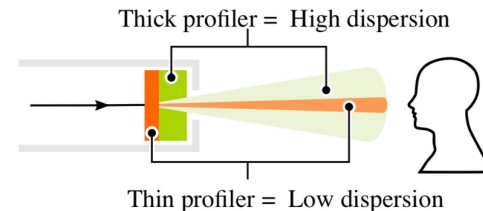
PEPITES status report

C. Thiebaux



PEPITES en bref

Profil des faisceaux “médicaux” O(100 MeV)



Buts



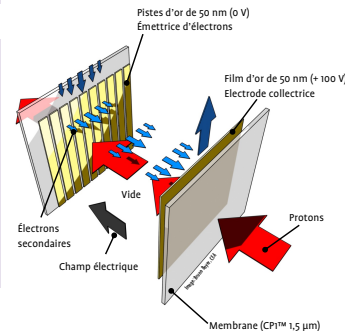
Perturbation faisceau minimale
→ Budget matière: 10 μm WET



Dose déposée minimale 10^8 Gy
→ Radiorésistance

Stratégie

- PEPITES (Profileur à Electrons secondaires Pour Ions Thérapeutiques)
- Electrons secondaires pour le signal
- Techniques de couches minces pour la construction



WET: Water Equivalent Thickness ($0.1 \mu\text{m Au} \approx 1 \mu\text{m water}$ $1 \mu\text{m Kapton} \approx 1.4 \mu\text{m water}$)

Atouts



Membranes dans le vide sans contraintes mécaniques
→ **Dommages radio-induits moins conséquents**



Ultra-finesse
• Échauffements faibles par le faisceau
→ **Tolère les faisceaux de HAUTES intensités**



Linéarité du signal SEE
→ **Large gamme dynamique**



Techniques de couches minces
• Méthodes flexibles
→ **Adaptation aux spécifications faisceaux**

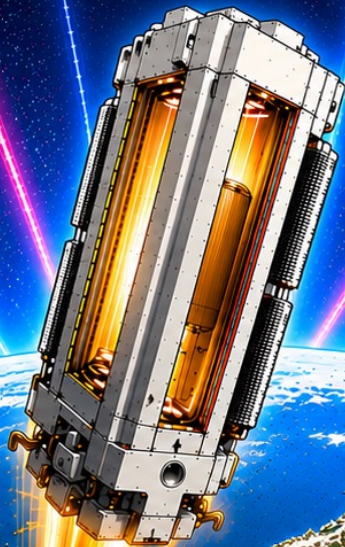
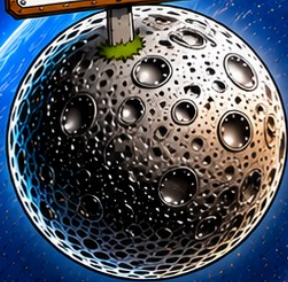


PEPITES

ULTRAFLASH



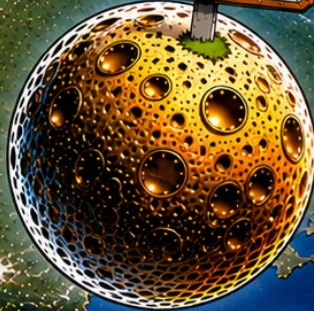
BIOALTO



CNAO



SPLASH



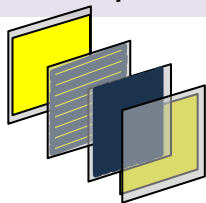
Test faisceau (2025)

LOI (2020) → Accord CNRS/CNAO pour PEPITES signé (04/2024)
Moniteur 6.5m en amont du patient (enjeu épaisseur !)

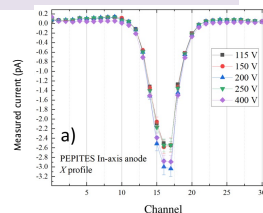
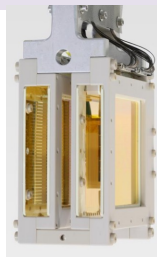
Tests faisceau en 2025.04

- trigger pour « coller » à la structure du faisceau
- Anodes « déportées » pour réduire le WET

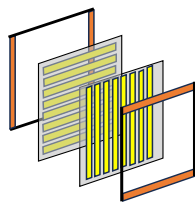
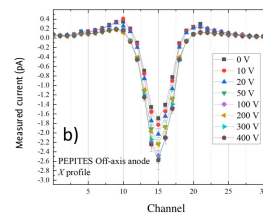
2025.04



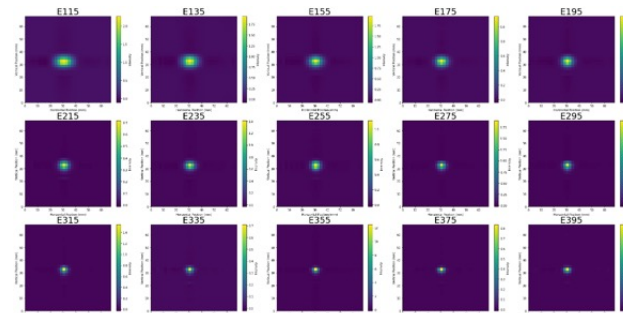
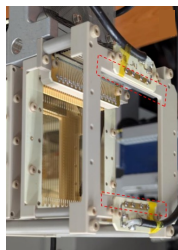
WET = 10 μm



115 MeV/u carbon



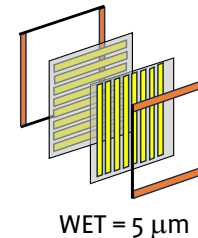
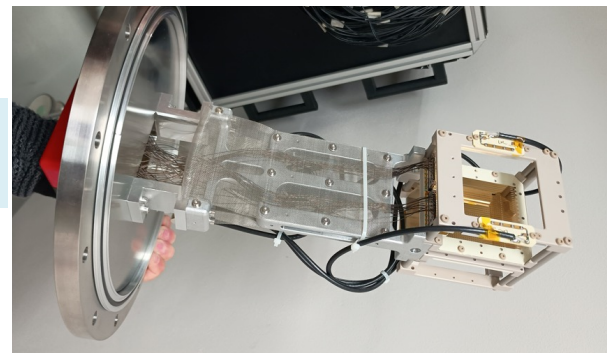
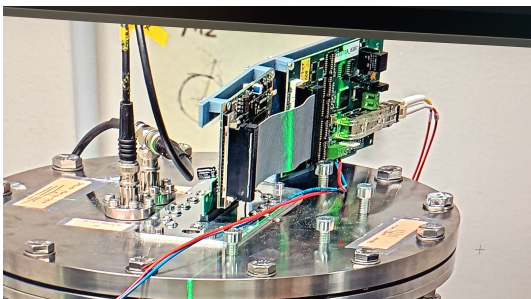
WET = 5 μm



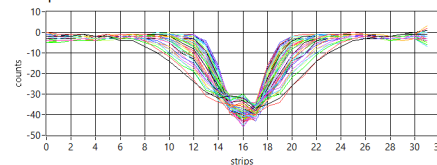
Carbon beams energy scan

Test faisceau (2026)

Test nouvelle électronique: chip TERA07

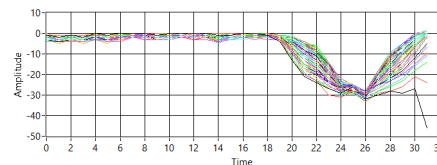


All X profile

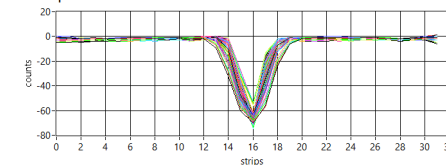


Proton, Fixed Beam, Energy Scan

All Y Profiles



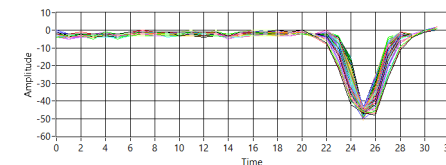
All X profile



Carbons, Fixed Beam, Energy Scan

2026.03

All Y Profiles



2026 et après...

Réduction du WET

- Anode hors axe : fonctionne
- Plus fin (LuxFilm) mais cher...très cher...(5000€ / plan)...

Géométrie	Membrane CP1™	Membrane LuxFilm™
2 plans strips 2 plans anodes	10 μm	2.5 μm
2 plans strips 2 anodes hors-axe	5 μm	1.25 μm
Pattern 2D Anode hors-axe	2.5 μm	0.6 μm

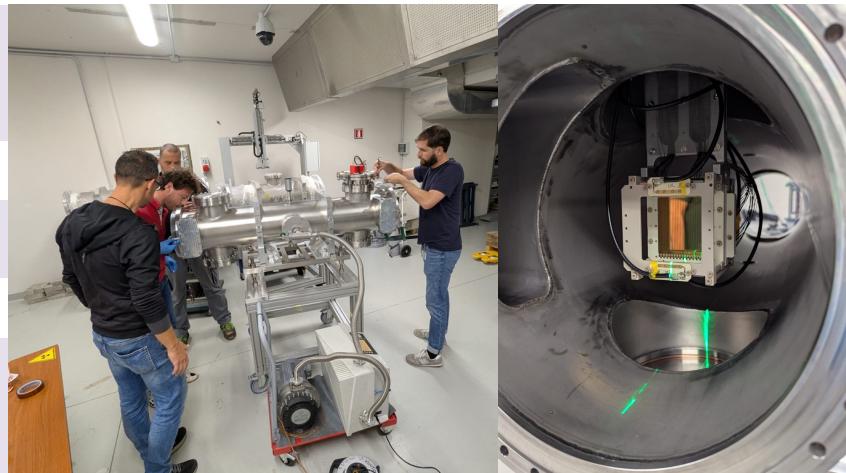
Electronique

- TERA07 semble répondre aux exigences

CDD PostDoc en « suspens » après le gel CNRS

Prochain test (fin 2026)

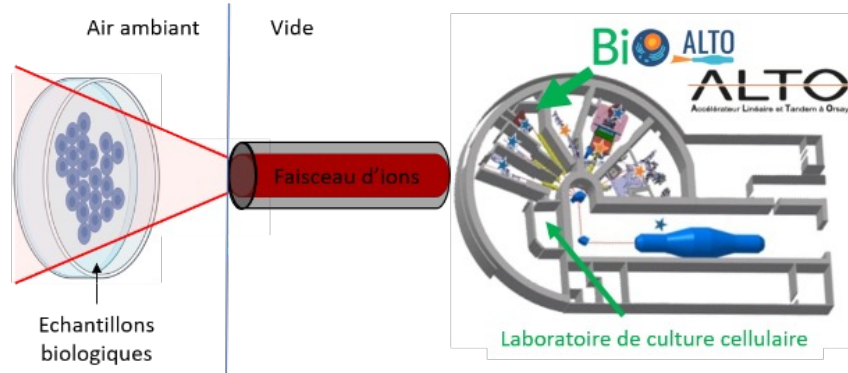
- PEPITES dans « le gruyère » (vide du faisceau)



Nouveauté 2026

AP SESAME 2025

- Région Île-de-France
- 197k€
- Pôles Physique Santé + Accélérateurs (IJCLab)
- Plateforme expérimentale dédiée à la recherche préclinique en hadronthérapie et en radiobiologie
- Mise en service 2027
- Avec un PEPITES !!!



Programme 2026

Premiers tests (fin 2026 ?) Amelia Maia Leite / Quentin Mouchard / Louis Hardouin

Tests faisceaux

- Tolérance des matériaux aux radiations
- Etude signal SEE

À définir

- Position du détecteur sur la ligne
- Géométrie, taille
- Electronique (possiblement TERA07 ?)

Ions	Beam energy (MeV)	Intensity (nA)	Expected SEE (α dE/dx)
Protons	7 / 17	1	0.4 / 0.8
He	15 / 30	1	2.8 / 1.8
Li	25 / 50	1	/ 4.3
C	40 / 85	1	/ 18

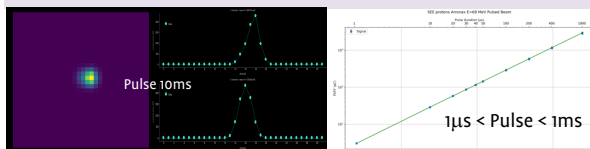
PEPITES for FLASH

Un détecteur qui aime le FLASH !



Grande linéarité du signal permettant de travailler à haut débit de dose

Profil à ARRONAX (proton 68 MeV, pulse 10 ms)



SPLIF : Moniteur d'intensité



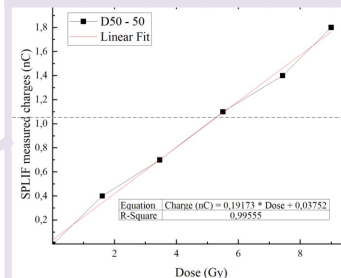
Evolution de SPLIF (mesure d'intensité) vers un profileur = SPLASH



PEPITES nomade pour fournir un outil pratique et fiable pour une mesure continue des faisceaux de haute intensité

2024.05

CPO (7 MeV electrons - SIT)
O(µs) pulses



Linéaire avec dose
O(Mgy/s)

Single ProfiLer for FLASH therapies



Financement programme de prématuration de l'IPP 2024
14 avril 2025 → 13 avril 2026

Manifestation d'intérêt de Theryq
(FlashDeep, machine électrons FLASH 200 MeV)



Programme SPLASH

- Étude du signal Flash pour les électrons de 200 MeV → tests CLEAR (CERN)
- Construction et test d'un prototype

Test Faisceau CLEAR

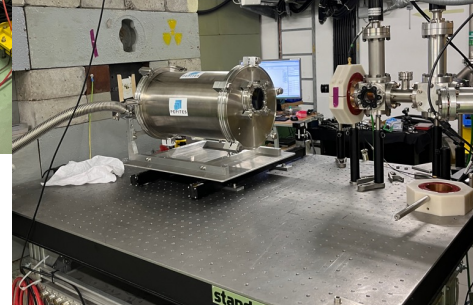
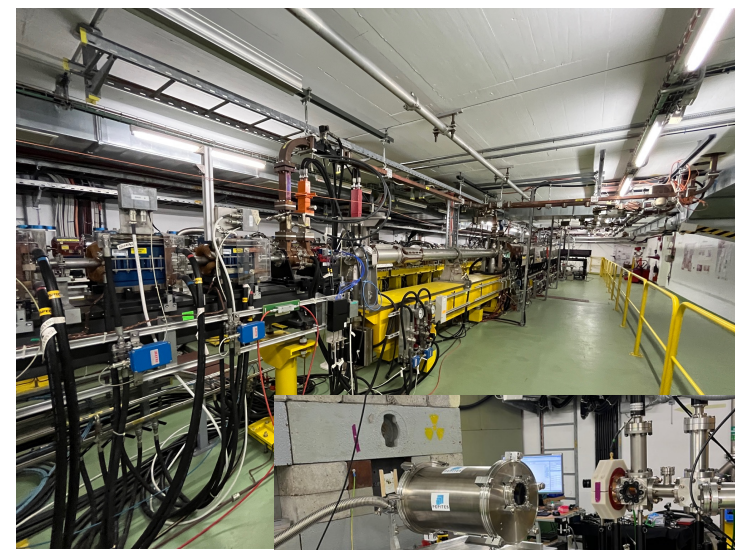
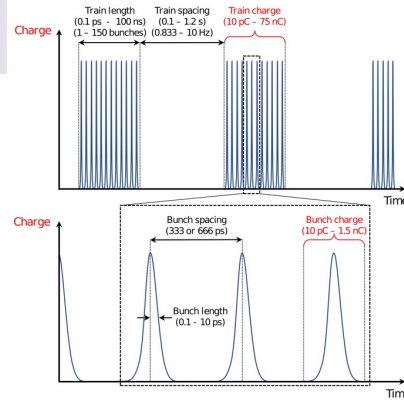
Mesure SEE à 200 MeV

Test beam du 19 au 23 mai 2025

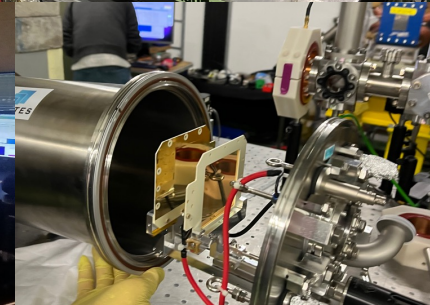
Beam Parameters

The beam parameters at the end of the linac are summarised in the following table:

Beam parameter (end of linac)	Value range
Energy	60 - 220 MeV
Bunch charge	0.01 - 1.5 nC
Normalized emittances	3 μm for 0.05 nC per bunch 20 μm for 0.4 nC per bunch (in both planes)
Bunch length	$\sim 100 \mu\text{m}$ - 1.2 mm
Relative energy spread	$< 0.2 \%$ rms ($< 1 \text{ MeV FWHM}$)
Repetition rate	0.8 - 10 Hz
Number of micro-bunches in train	1 - 150
Micro-bunch spacing	1.5 or 3.0 GHz

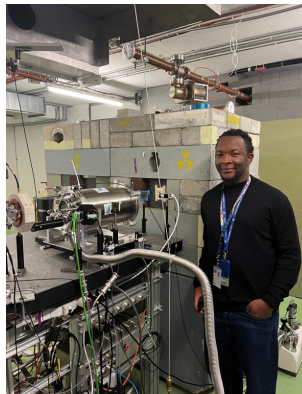


- SEE
- Energie (80-100 MeV)
 - Durée de pulse (1-100ns)
 - Taille de faisceau
 - Haute tension sur les anodes

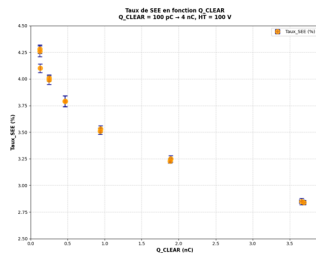


Test Faisceau CLEAR

Résultats

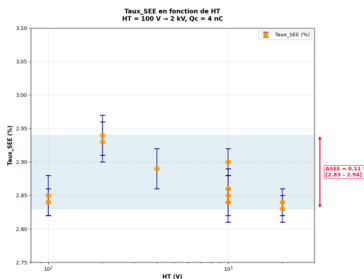


Sadrack Tchuenkam Kamdem (CDD 1 an premat IPP)



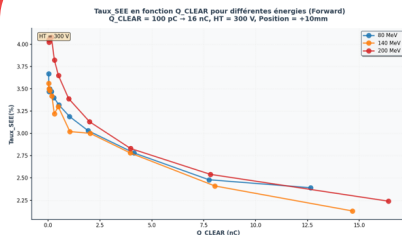
Taux_SEE vs Q_CLEAR

Déroissance du taux de SEE avec l'augmentation de la charge CLEAR



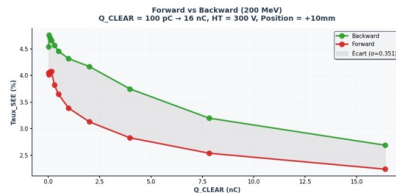
Taux_SEE vs HT

Faible dépendance du Taux_SEE vis-à-vis de la tension



Taux_SEE vs Energie

Légère croissance du taux de SEE avec l'augmentation de l'énergie



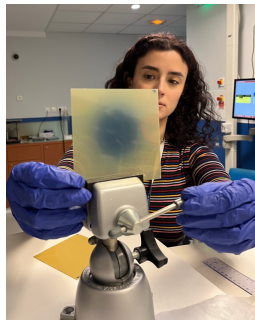
Forward/Backward

La configuration Backward favorise une émission secondaire plus intense que la configuration Forward

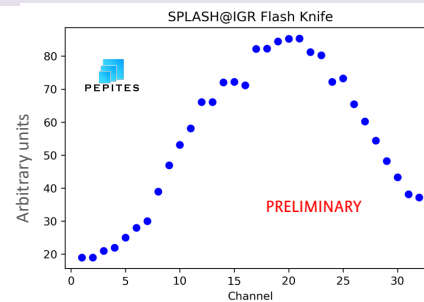
Comportement du Taux_SEE observé

- ✓ Taux_SEE est affecté par densité de charge
- ✓ La Tension n'a pas d'impact significatif sur le Taux_SEE
- ✓ Taux_SEE plus élevé pour une énergie de 200 MeV
- ✓ L'émission en Backward est plus élevée que l'émission en Forward

Profiling Flash beams

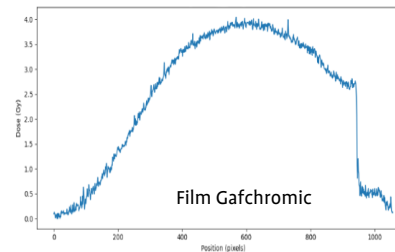
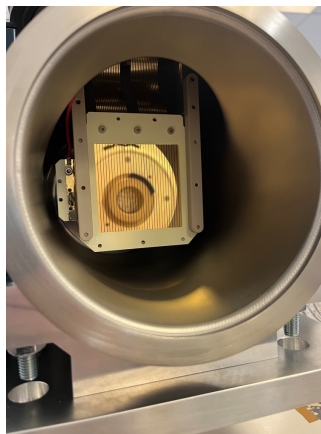


IGR (9 MeV electrons - Theryq) O(μ s) pulses
Elena Agostoni / Charlotte Robert



1st μ s pulse profile

- “voie par voie” (32 tirs)
- Next :
électronique pour
mesure simultanée



Un défi pour les modalités Flash ultimes

Faisceaux « FLASH » générés par Accélération Laser Plasma (pulses O(10fs))

CPO (SIT Flash) : e- 7 MeV O(μ s)



CLEAR : e- O(200 MeV) O(ns)



ELYSE : e- 7 MeV O(10 ps)



LOA : e- O(100 MeV) O(10 fs)



Effets de saturation observés

- Sur un très large dynamique
- Stabilité dans la plage de fonctionnement d'un moniteur

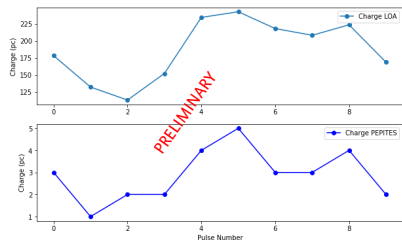
Mesure de la charge incidente sur le plan d'émission

- Différents système à différentes positions
- Largeur du faisceau (électrons)
- Lien entre dose et courants/charges



Projet SPARKS (ANR 2026) : étude du signal et prototype de profileur sur une machine ALP (LAPLACE)

Durée de pulse (difficulté...)



PEPITES conclusions

L'aventure continue



CNAO : projet en cours, électronique quasi-définie, détecteur final à construire



BioALTO : projet débute, premiers tests fin 2026 pour le design complet (géométrie, readout)

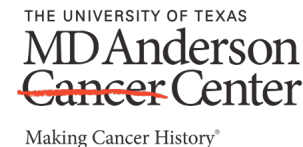


SPLASH : test à venir pour un profil « instantané »



UltraFlash : ANR en 2eme phase (SPARKS, LLR-LOA-CEA)

PEPITUS : contacts noués avec MD-Anderson Cancer Center pour un PEPITES Flash proton



L'équipe



Lorenzo Bernardi



Rémi Duhamel



Franck Gastaldi



Rémi Guillaumat



François Joubert



Christophe Thiebaux



Marc Verderi