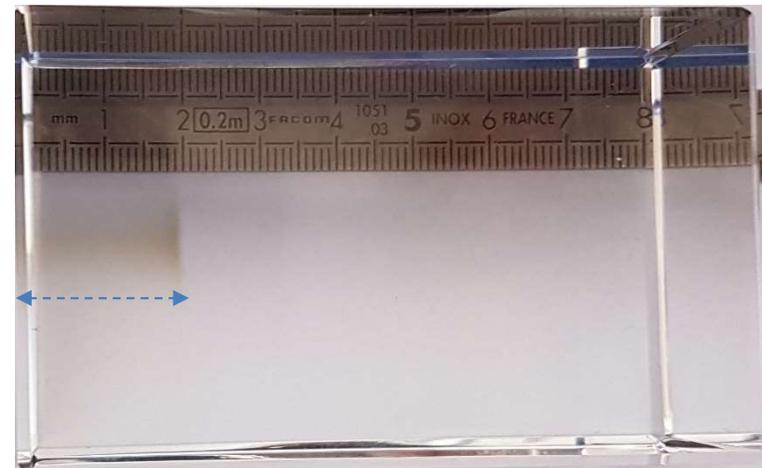
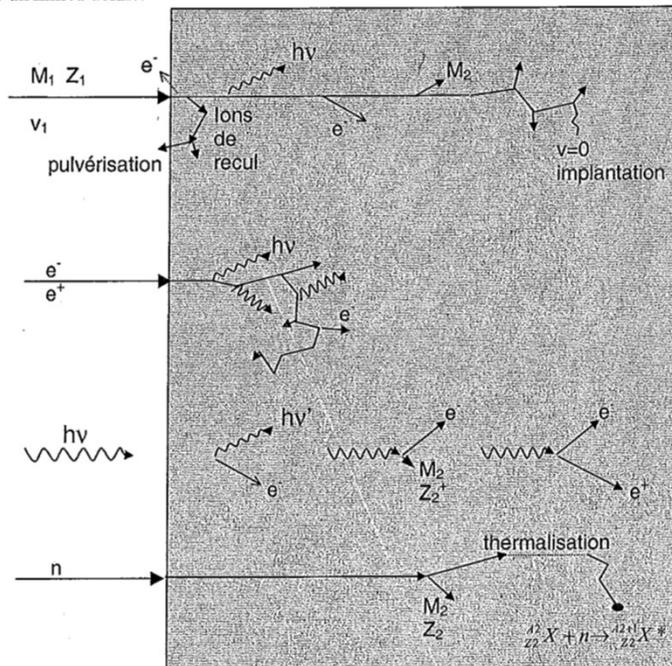
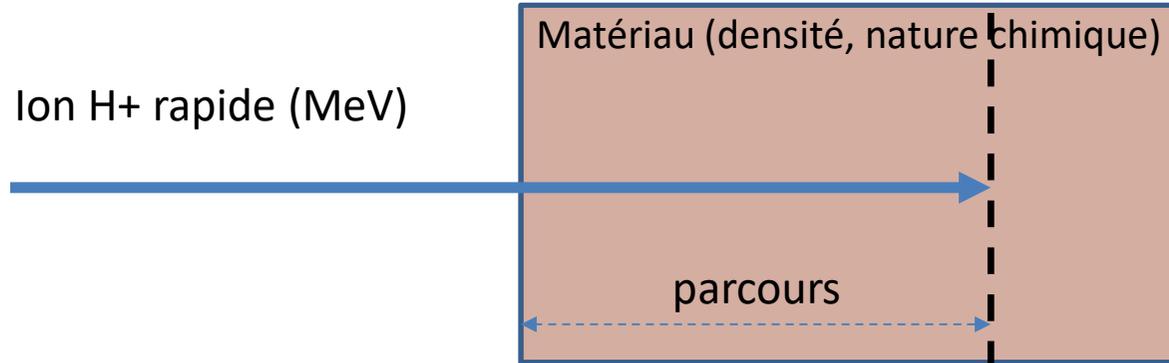


La plateforme d'irradiation du cyclotron ARRONAX

Journées thématiques du Réseau Semi-conducteurs IN2P3-IRFU
2023 : Les détecteurs semi-conducteurs dans l'espace

Nantes 04/07/2023

Interaction ion-matière

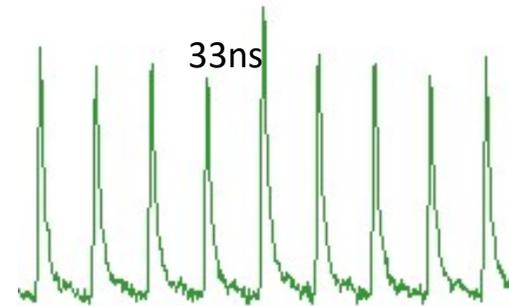


Parcours H⁺ 68 MeV dans le quartz ~ 2cm

Plan

- Les faisceaux du cyclotron Arronax
- Le dispositif d'irradiation
- Les moniteurs faisceaux
- Exemples d'applications:
 - Le projet Flash-irradiation des poissons zèbres
 - Irradiation des détecteurs et des cartes électroniques pour des applications en espace et en accélérateur de particule

Les faisceaux du cyclotron Arronax

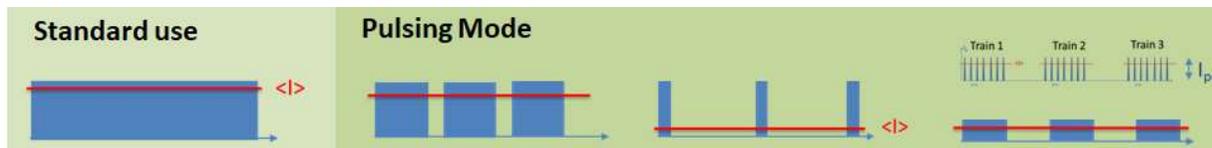


Beam	Accelerated particles	Energy range (MeV)	Range in Water (cm)	Intensity (μA)
Proton	H-	30-70	0,8-3,8	10^{-7} - 375
	HH+	17	0,3	<50
Deuteron	D-	15-35	0,1-0,6	<50
Alpha	He ⁺⁺	68	0,3	10^{-7} - 70

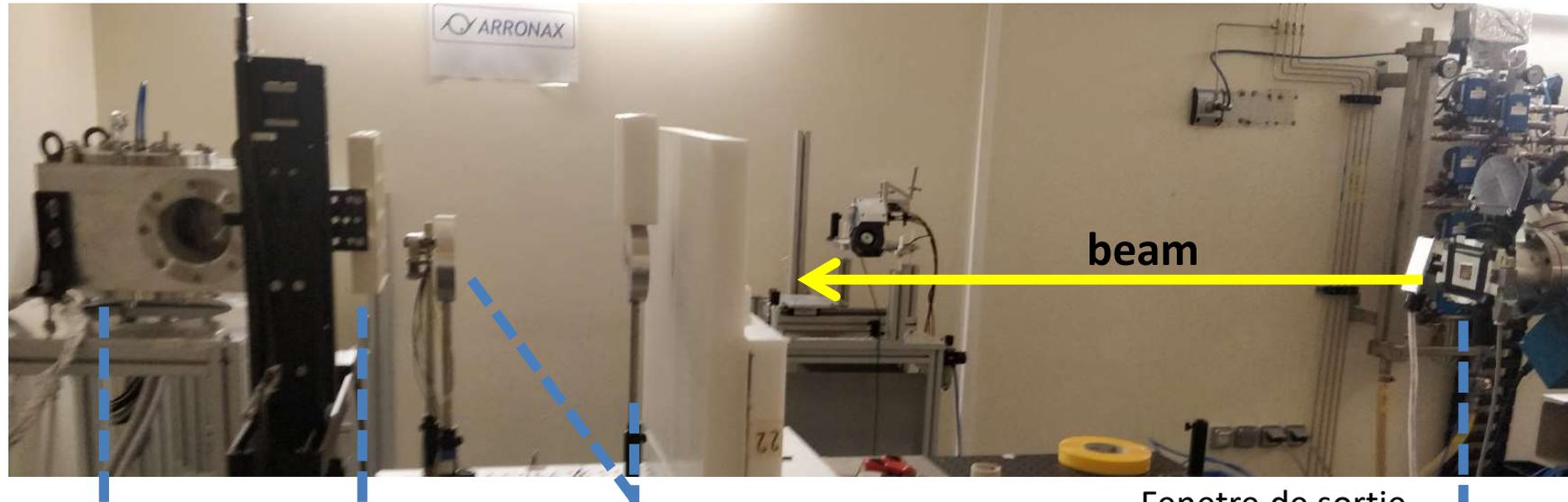
Multi-particules, RF 30,45MHZ

Large plage d'intensité fA → centaines de μA

Large choix d'énergie avec un parcours jusqu'au quelques cm dans l'eau



Dispositif d'irradiation



Faraday Cup

Axe déplacement (X,Y)

Collimateurs

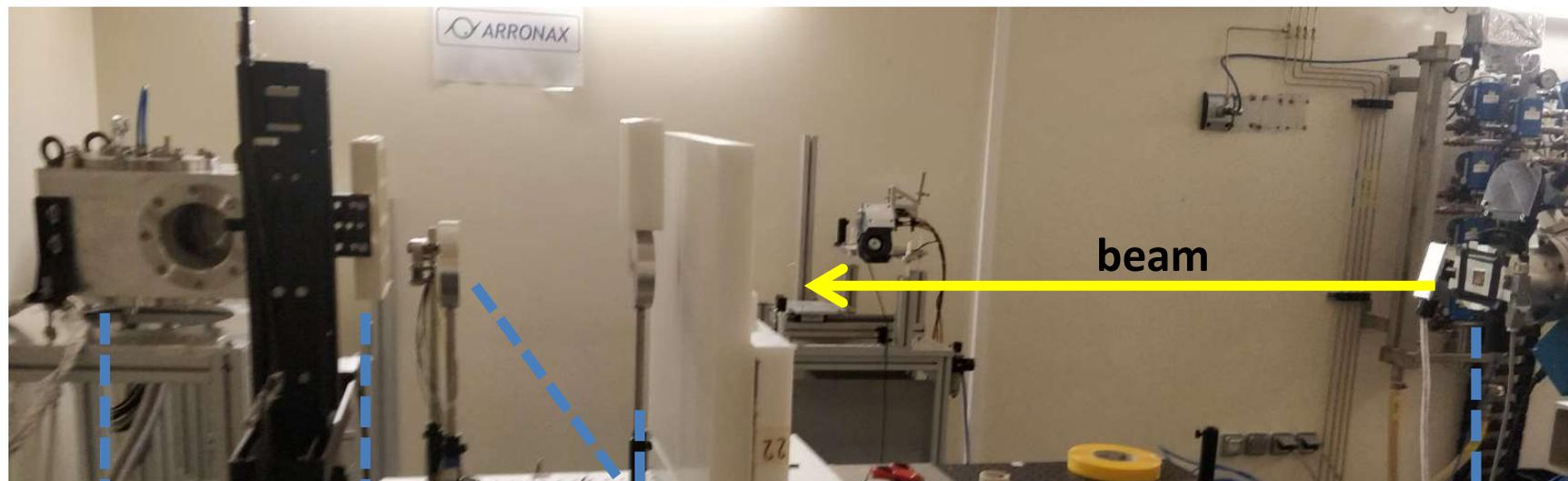
Fenetre de sortie

+système de refroidissement

+feuille diffuseur

Extraction du faisceau

- une fenêtre de sortie en Kapton ($50\mu\text{m}$) refroidie à l'air
- intensité maximale:
 - $20\mu\text{A}$ proton 68MeV (200kGy , surface du champ 1cm^2)
 - $2\mu\text{A}$ alpha 68MeV



Faraday Cup

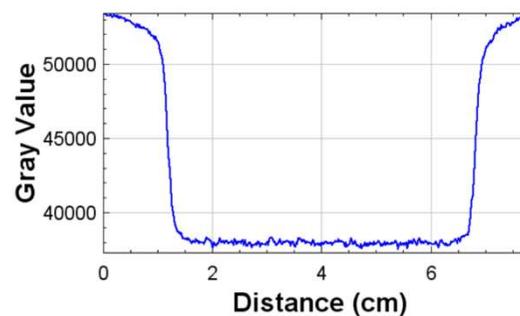
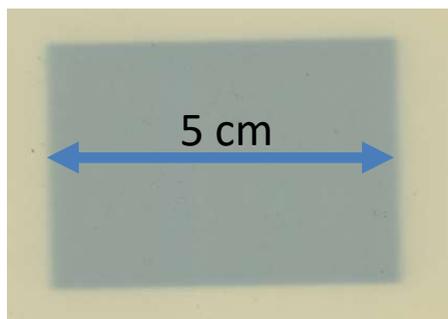
Axe déplacement (X,Y)

Collimateurs

Fenêtre de sortie
+ système de refroidissement
+ feuille diffuseur

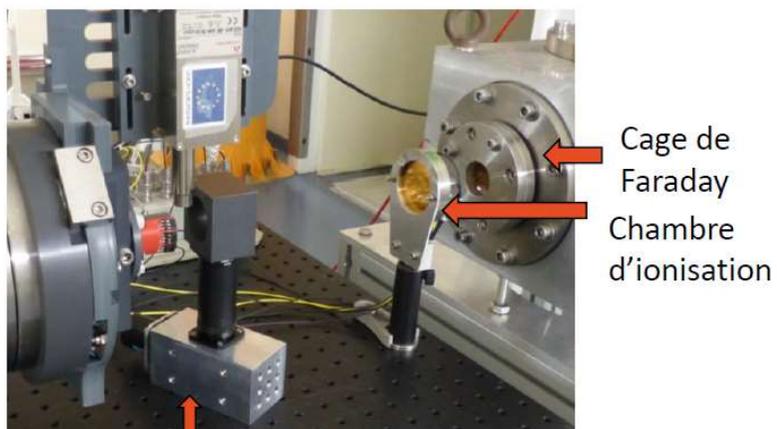
Homogénéité du champ

- le couplage entre un diffuseur (en tungstène) + la distance d'air entre sortie de faisceau et la cible, → une tache faisceau homogène > 95% sur un diamètre de 50 mm

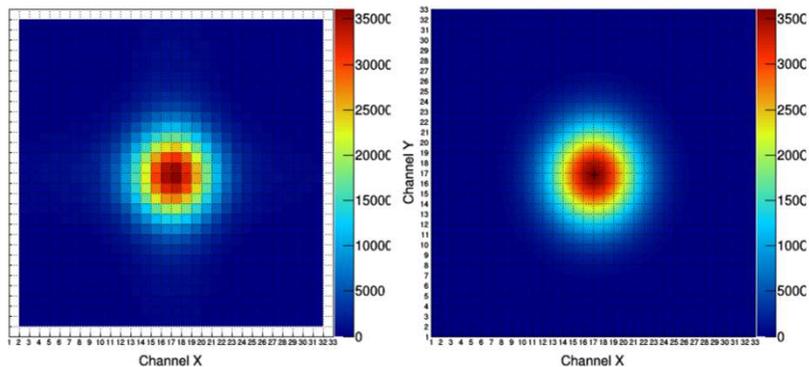
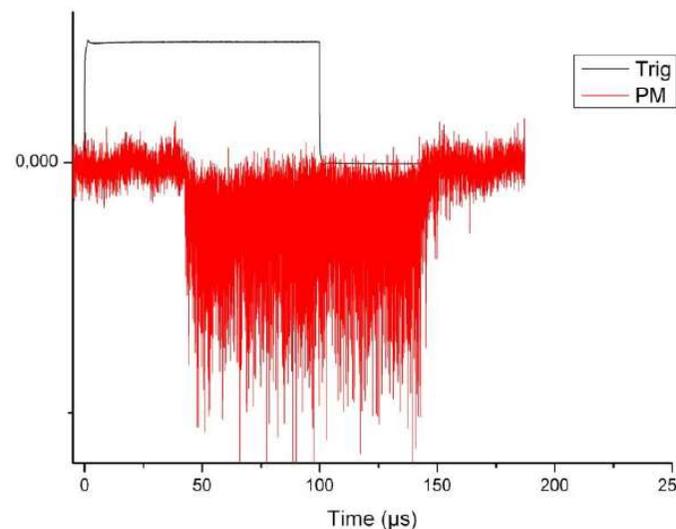
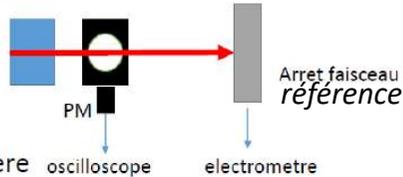


MONITEUR faisceau (intensité)

Production et maitrise du faisceau

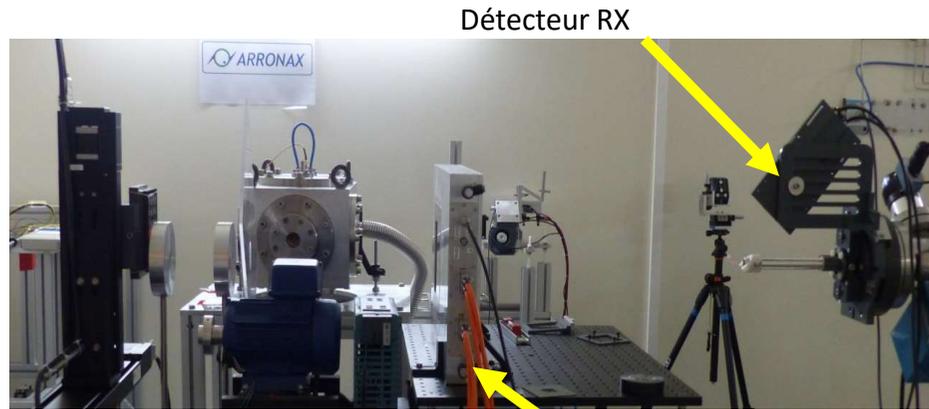


Photomultiplicateur pour détecter la lumière

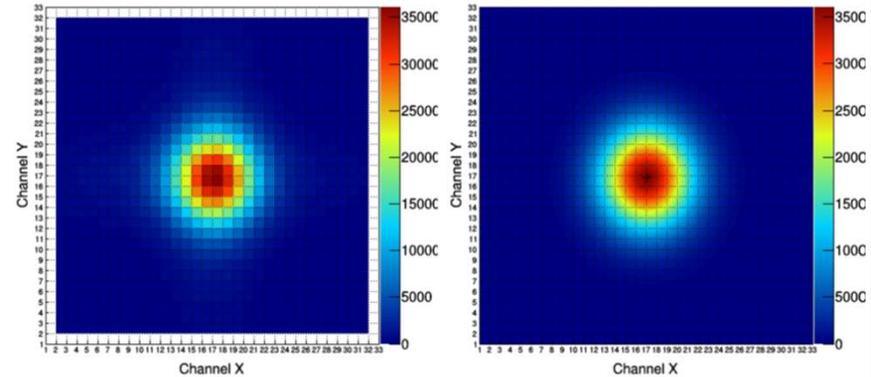


MONITEUR faisceau (géométrie)

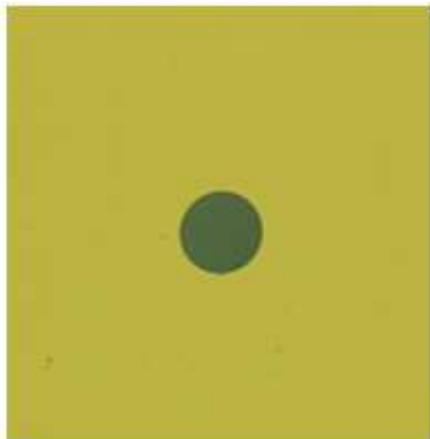
Analyse en ligne



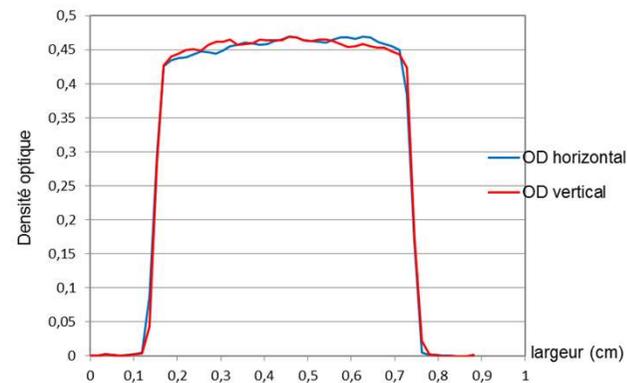
Dosion, chambre pixelisée 32 X, 32 Y



Analyse hors faisceau



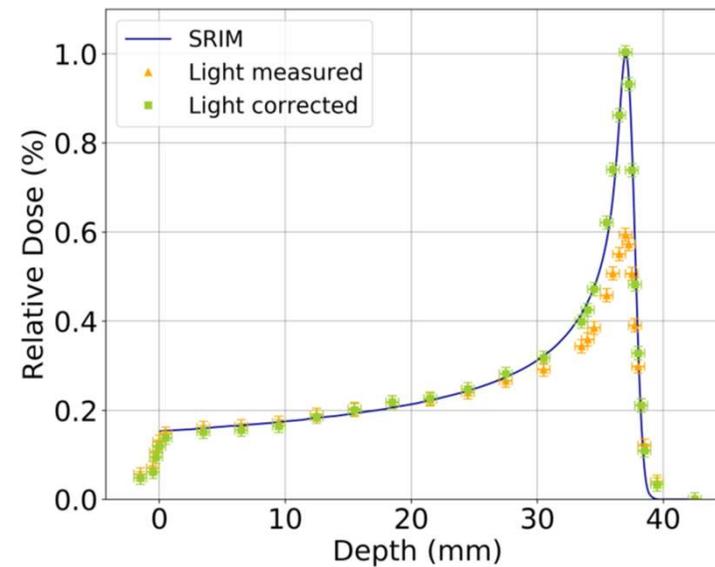
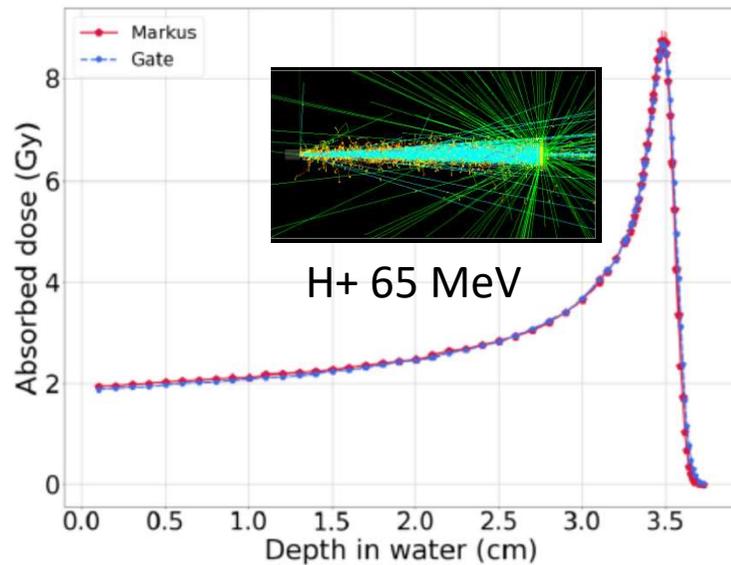
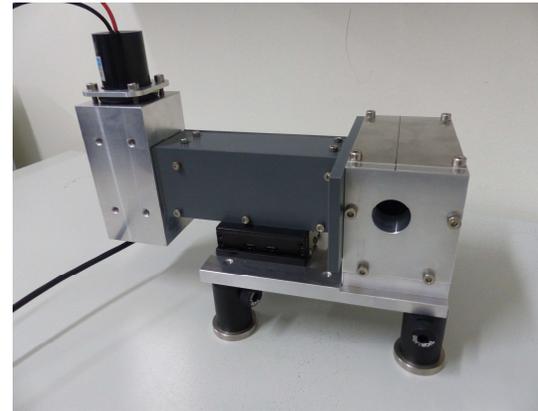
Radiochromic film EBT3



MONITEUR faisceau énergie

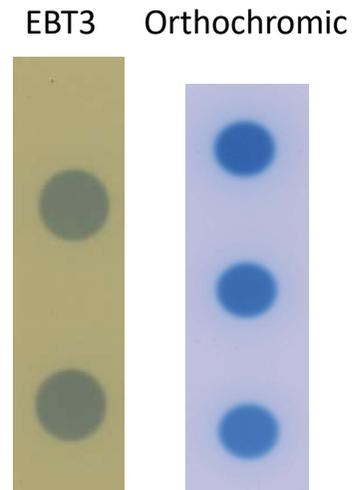
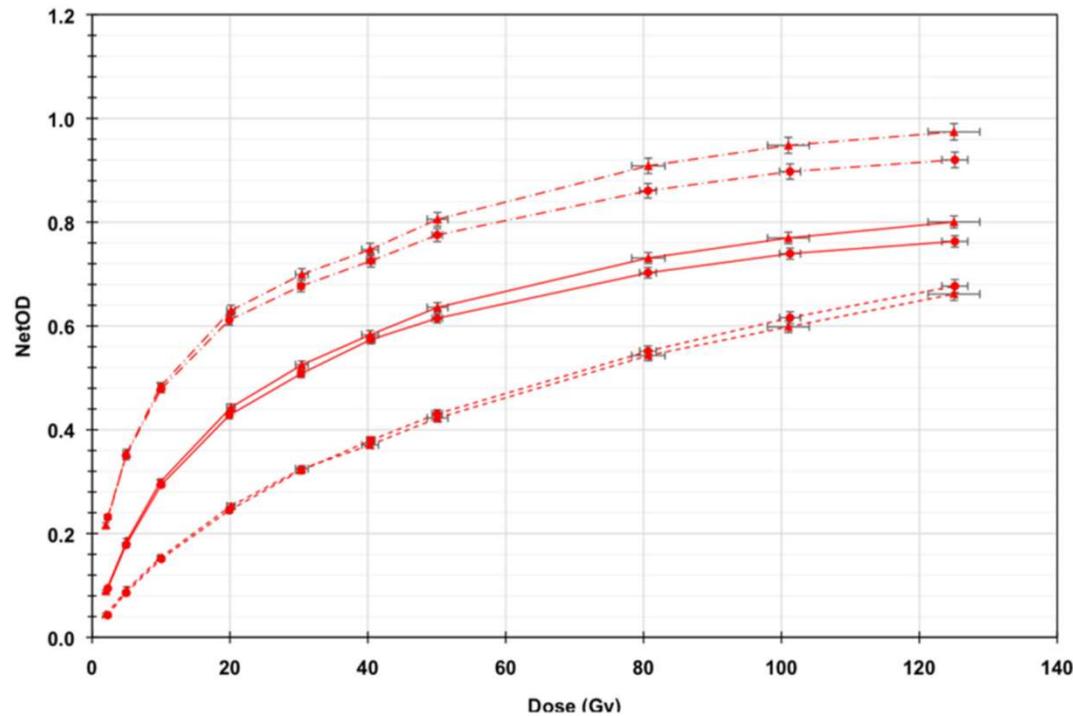


Markus PTW



Thèse Flavien Ralite (2021), Thèse Manon Evin (en cours)

Dosimétrie par film

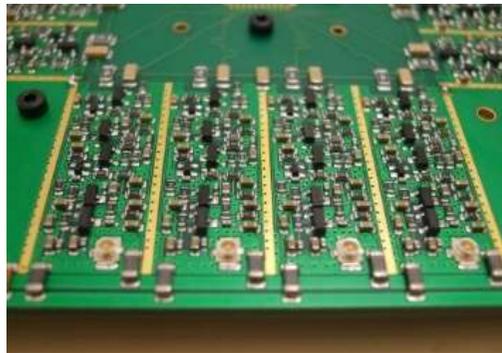


Ultra-High Dose Rate (UHDR) 10kGy/sec
Conventionnel: 15 Gy/min

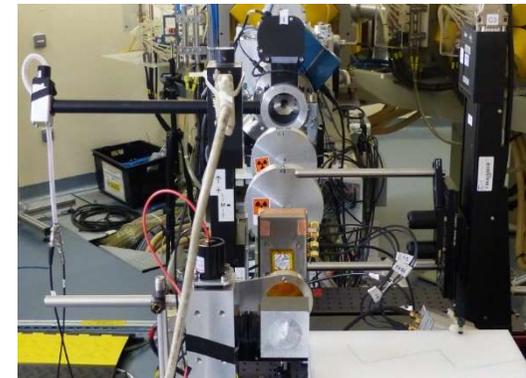
Villoing D. et al. Proton beam dosimetry at ultra-high dose rates (FLASH): Evaluation of GAFchromic (EBT3, EBT-XD) and OrthoChromic (OC-1) film performances. Med Phys. 2022 Feb 18. doi: 10.1002/mp.15526.



Diamond detector

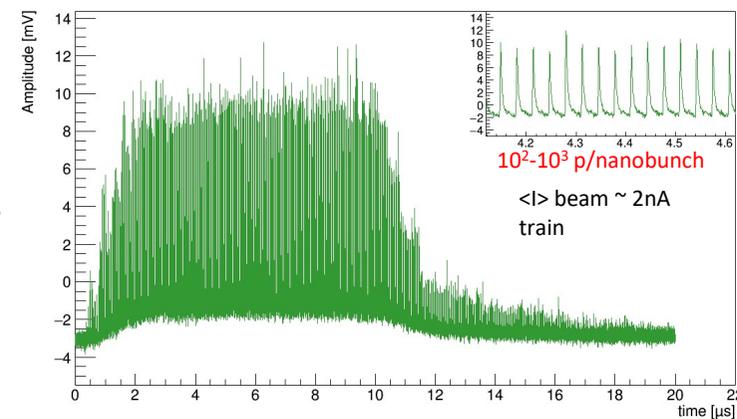


Electronic readout, QDC

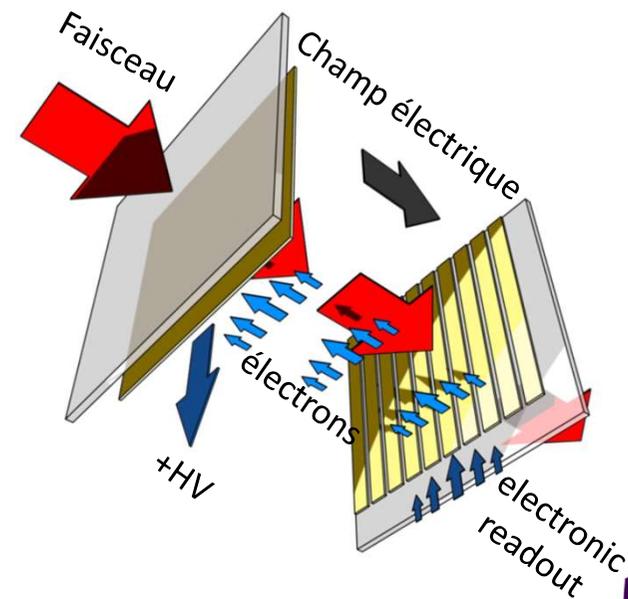
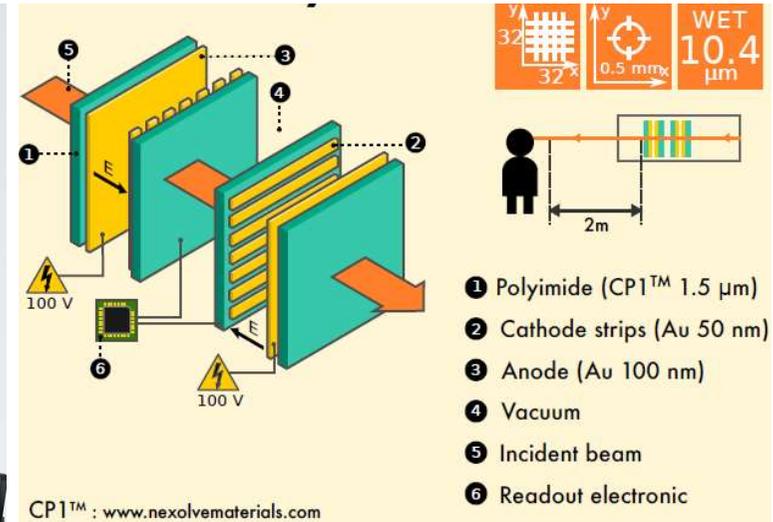


- **Bunch Counting** : mode continu, entre 1 et 100 particules par bunch (<1nA)
- **Train Counting** : mode pulsé, au-delà de 100 particules par bunch, jusqu'à 1μA sur détecteur (FLASH)

Thèse Robin Molle (en cours)



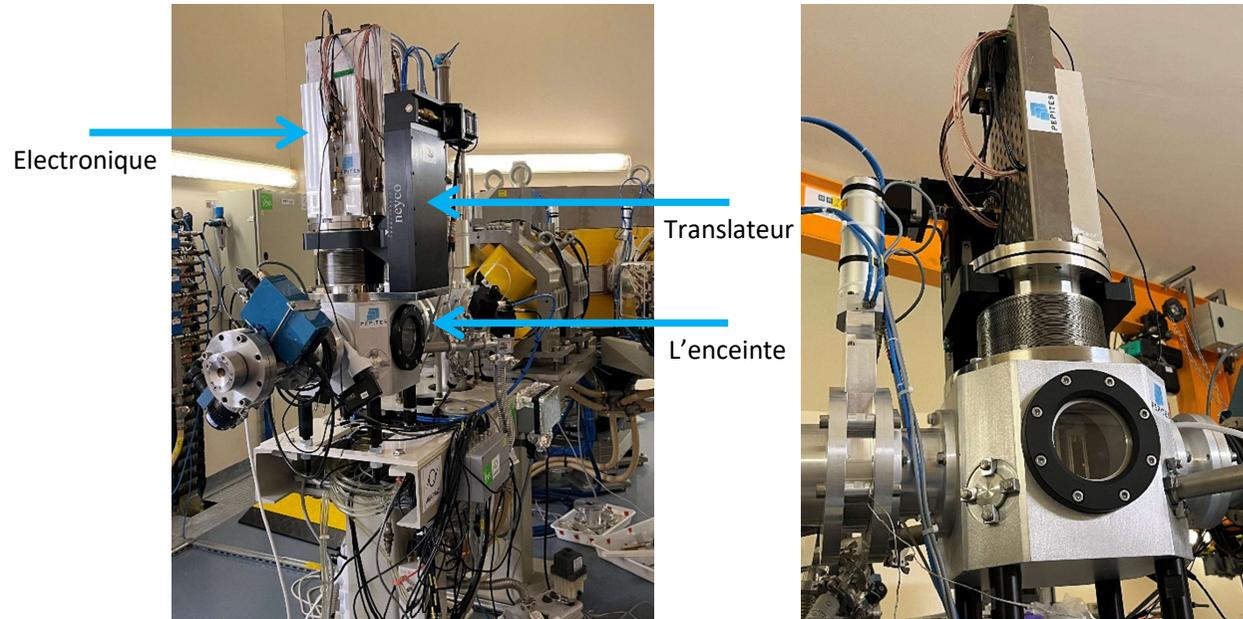
PEPITES



Profileur à Electrons secondaires Pour Ions Thérapeutiques

Profileur ultra-mince et radio-résistant. L'épaisseur totale est inférieure à 10μm équivalent eau

Installation PEPITES-fin mai 2022



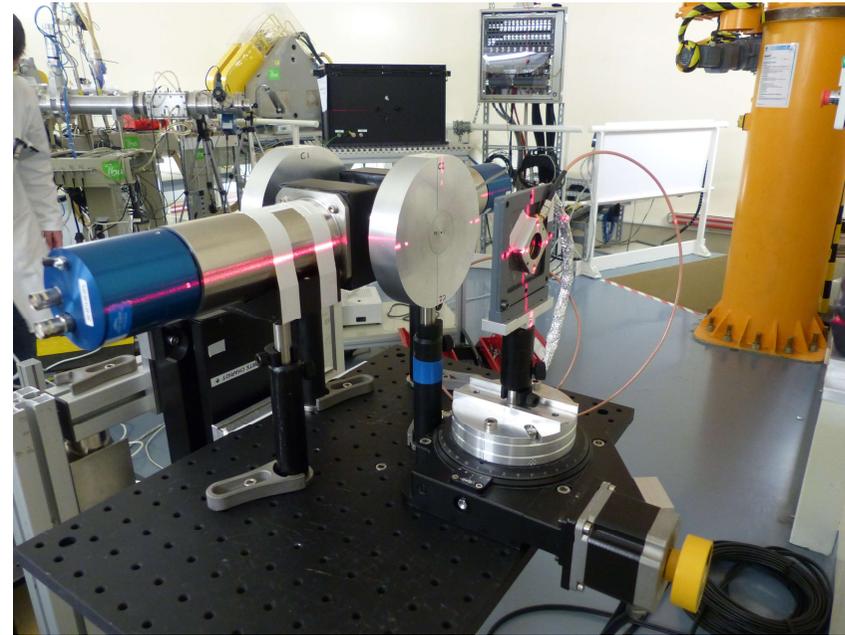
Caractérisation avec un faisceau de proton de 68 MeV :

- Les installations mécaniques, électroniques et le logiciel d'acquisition ont été validés
- Profils de faisceau X et Y ont été obtenus avec des intensités entre 1pA-10nA

Irradiations des scintillateurs + téléscope Si (Dorn_Pierre-Yves Meslin)



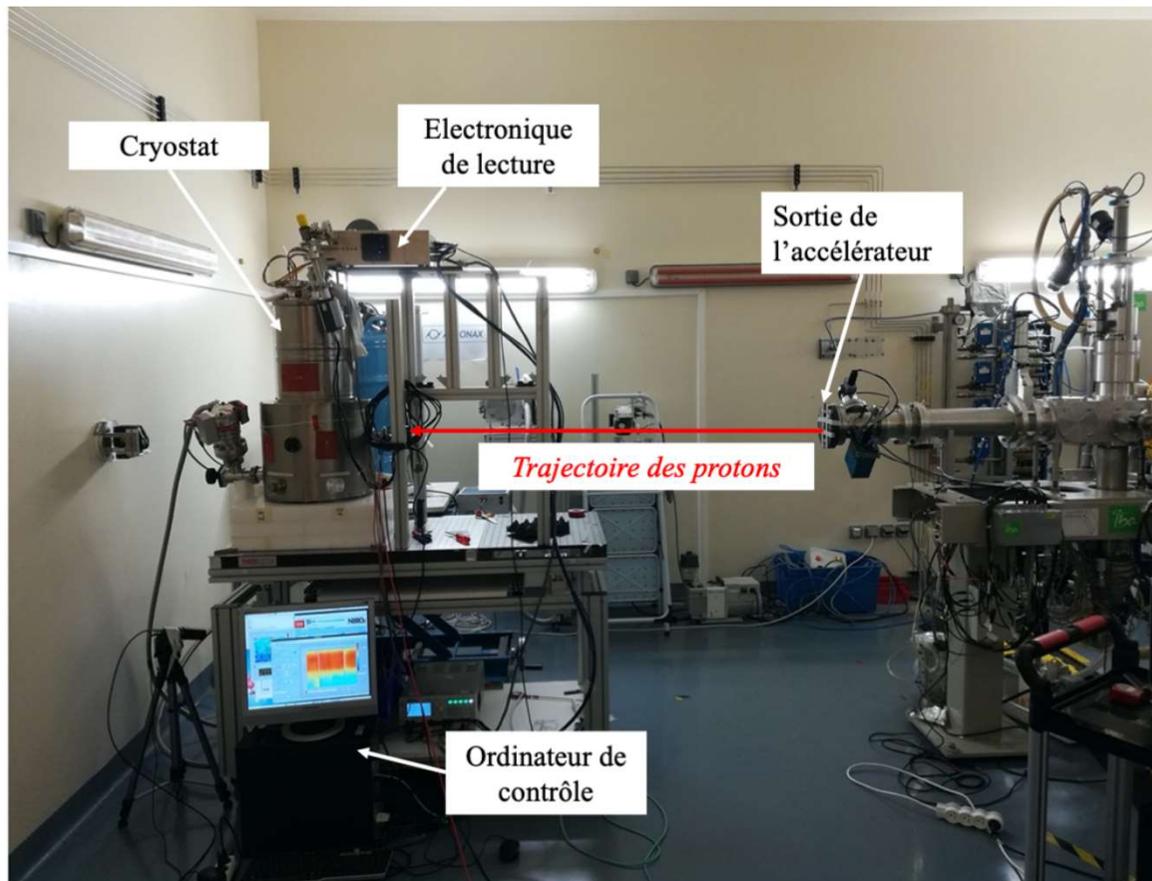
-Faisceau: proton 50 MeV, alpha 68MeV
-Flux:
1000 particules/cm²/sec



Dispositif pour simuler
le module Dorn

Irradiations caméra IR (Thibaut Pichon)

Objectif: caractérisation de l'impact des particules chargés (protons) sur le bruit de fond de la caméra, évènement transitoire



-Taille de champ:
1cm²

-Faisceau:
Protons 50 MeV

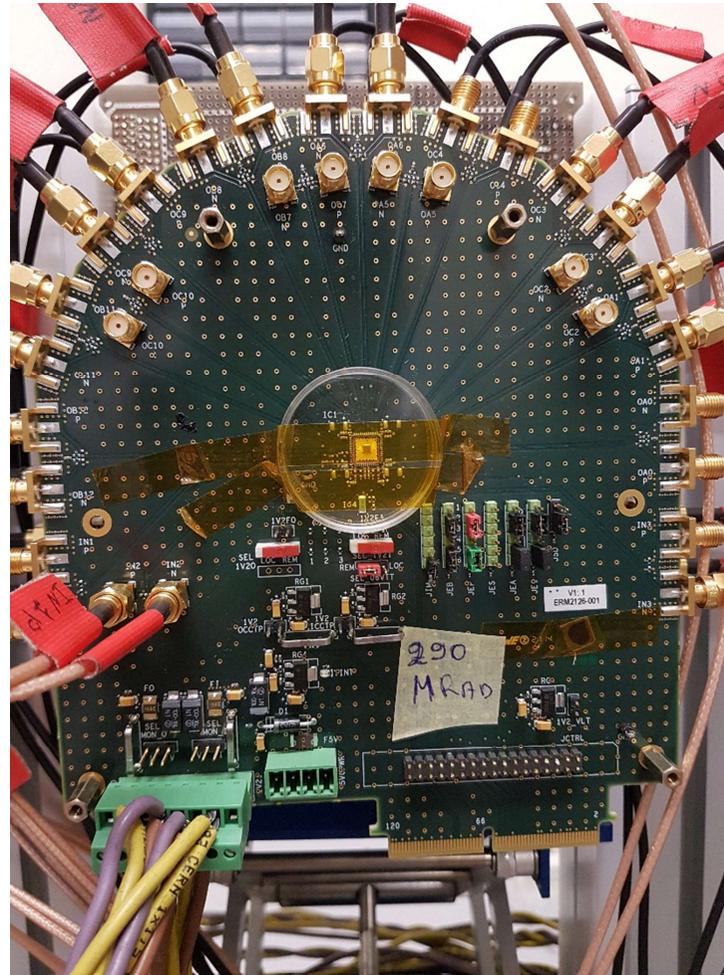
-Flux:
50 protons/cm²/sec

Irradiation des cartes électroniques pour le CERN (Christophe de la Taille)

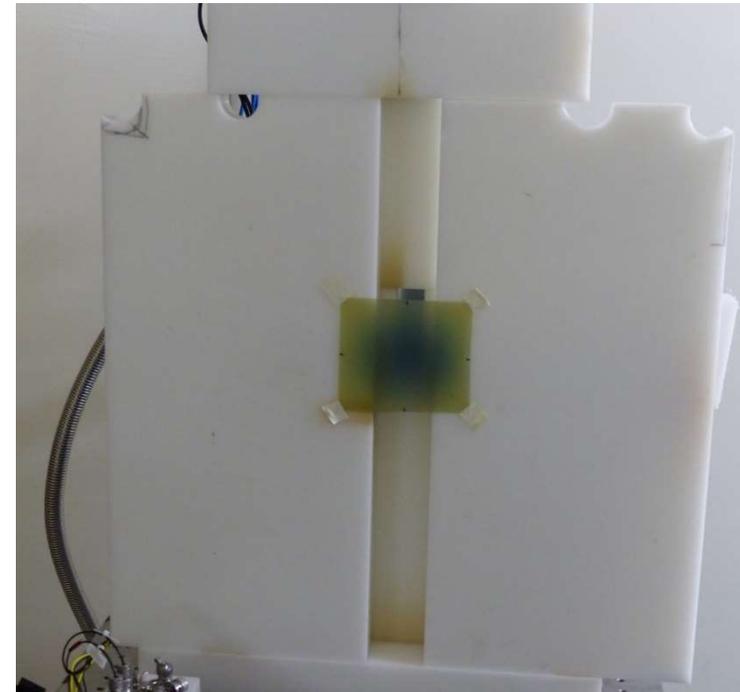
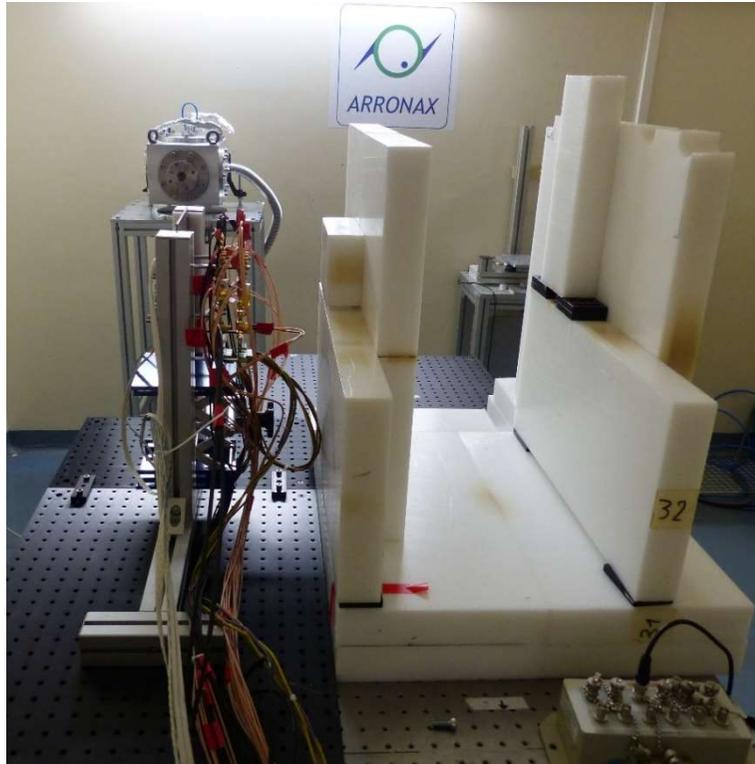
Objectif: Caractérisation du taux d'erreur de l'électronique numérique durcis ou nombre des erreurs par proton incident



Irradiation des cartes électroniques pour le CERN



Irradiation des cartes électroniques pour le CERN

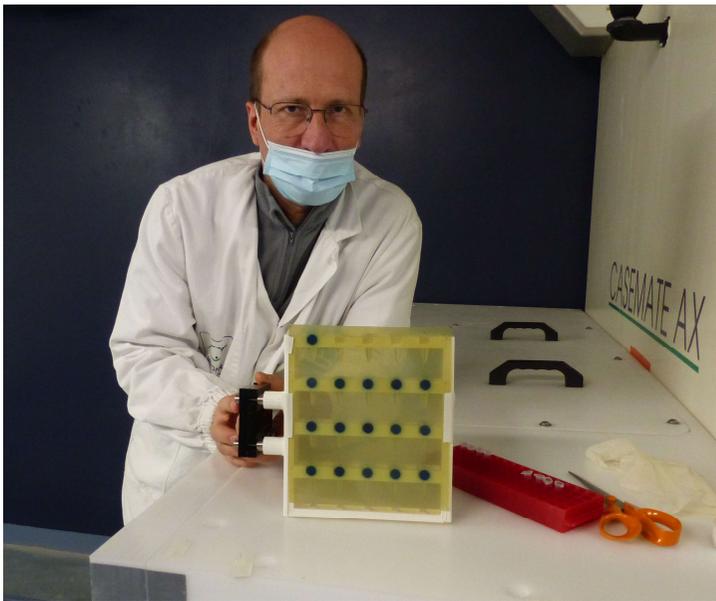


H⁺ 68 MeV, taille de champ: 1cm²

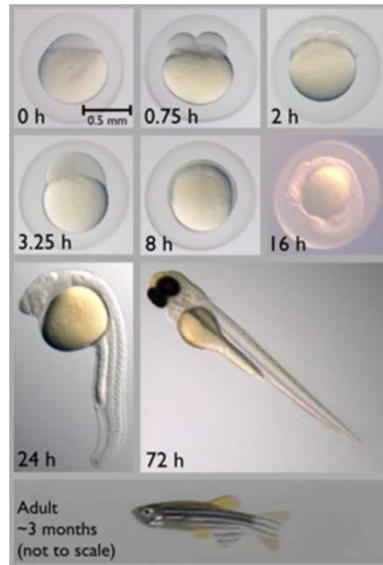
Flux: 1pA-12nA*/cm²/sec

*1nA= 6 milliards protons/sec

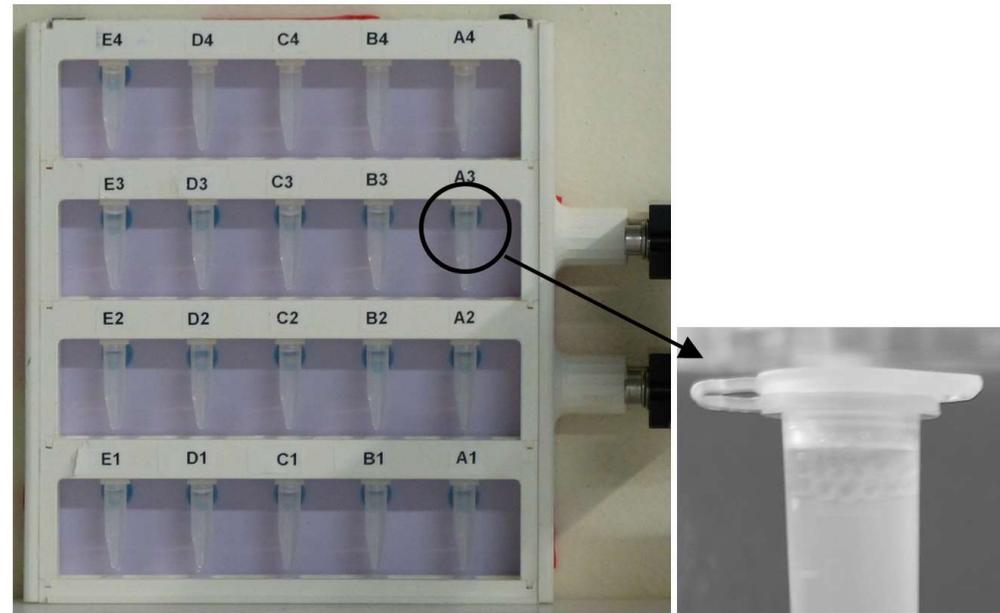
Irradiations Flash



Irradiations des Zebrafishs



Embryons Zebra fish

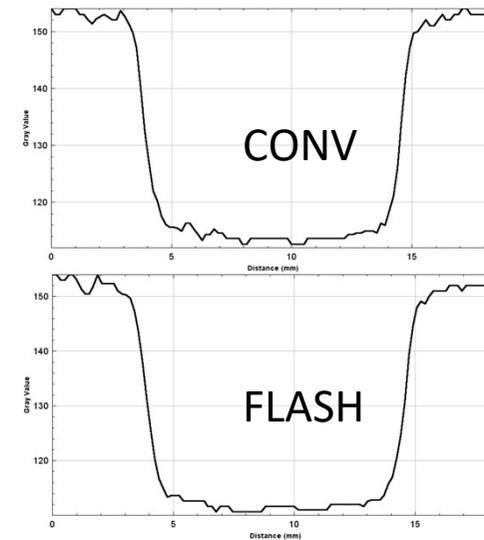


Conditions d'irradiations:

Plateau du pic de Bragg, faisceau de proton de 65 MeV.

Conventionnelle: débit de dose instantané $< 2 \text{ Gy/s}$,
débit de dose moyen est de l'ordre de 15 Gy/min.

Flash: un seul pulse, durée ms \rightarrow dizaines de ms.
Le débit instantané de la dose (débit moyen)
a été varié entre 7,5kGy/sec et 60kGy/sec.



En résumé

- La plateforme d'irradiation d'Arronax a un large choix du faisceau
 - Des protocoles de réglage ont été optimisés pour avoir un faisceau stable et répétable.
 - Energie jusqu'au 70 MeV et flux entre 1 ion/sec/cm² → 10¹⁰ ion /sec/cm²
 - Taille de champ homogène jusqu' 'au 10cm²