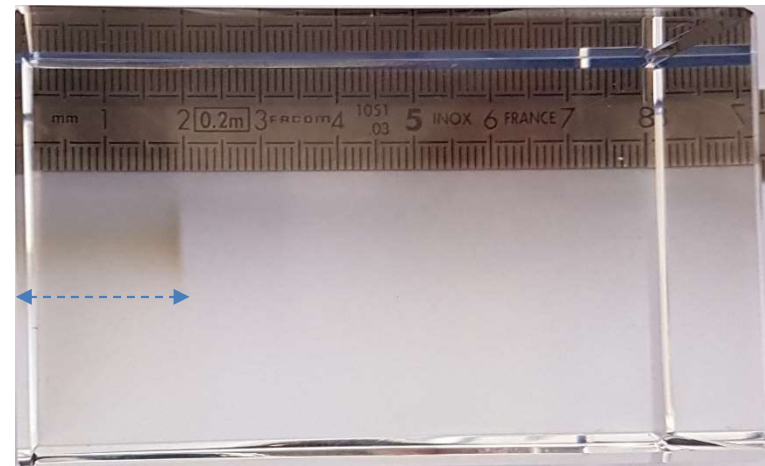
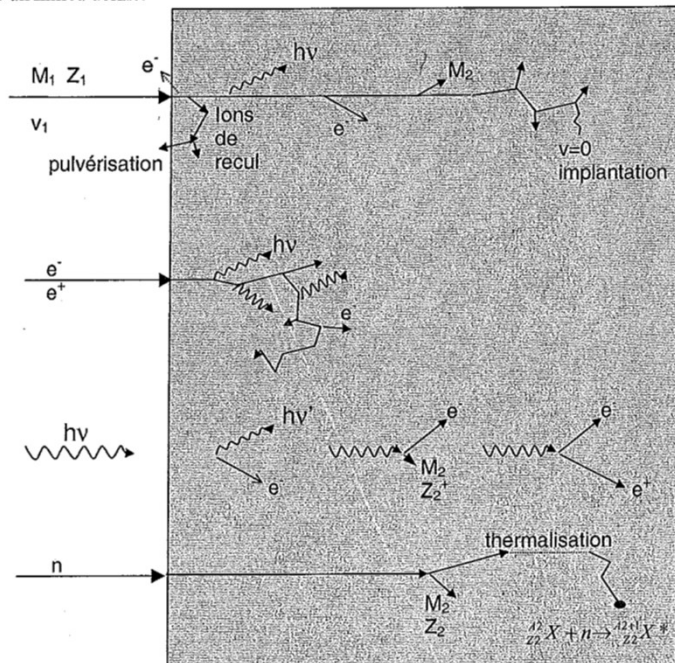
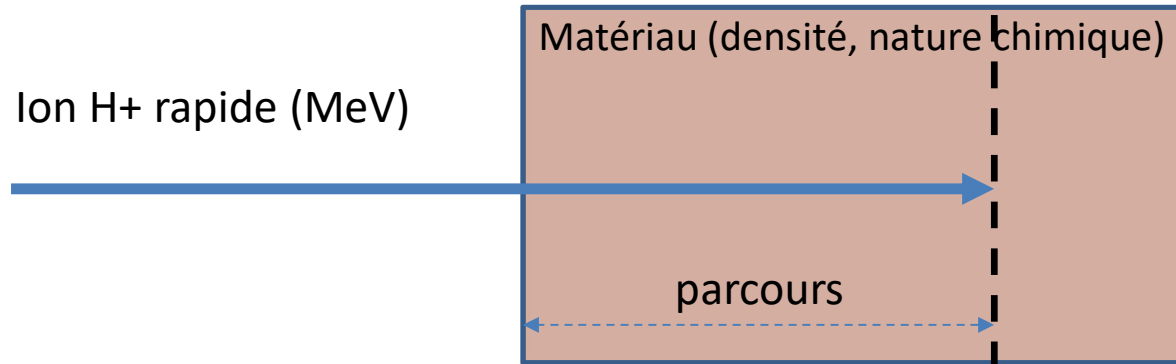


# La plateforme d'irradiation du cyclotron ARRONAX

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

Nantes 04/07/2023

# Interaction ion-matière

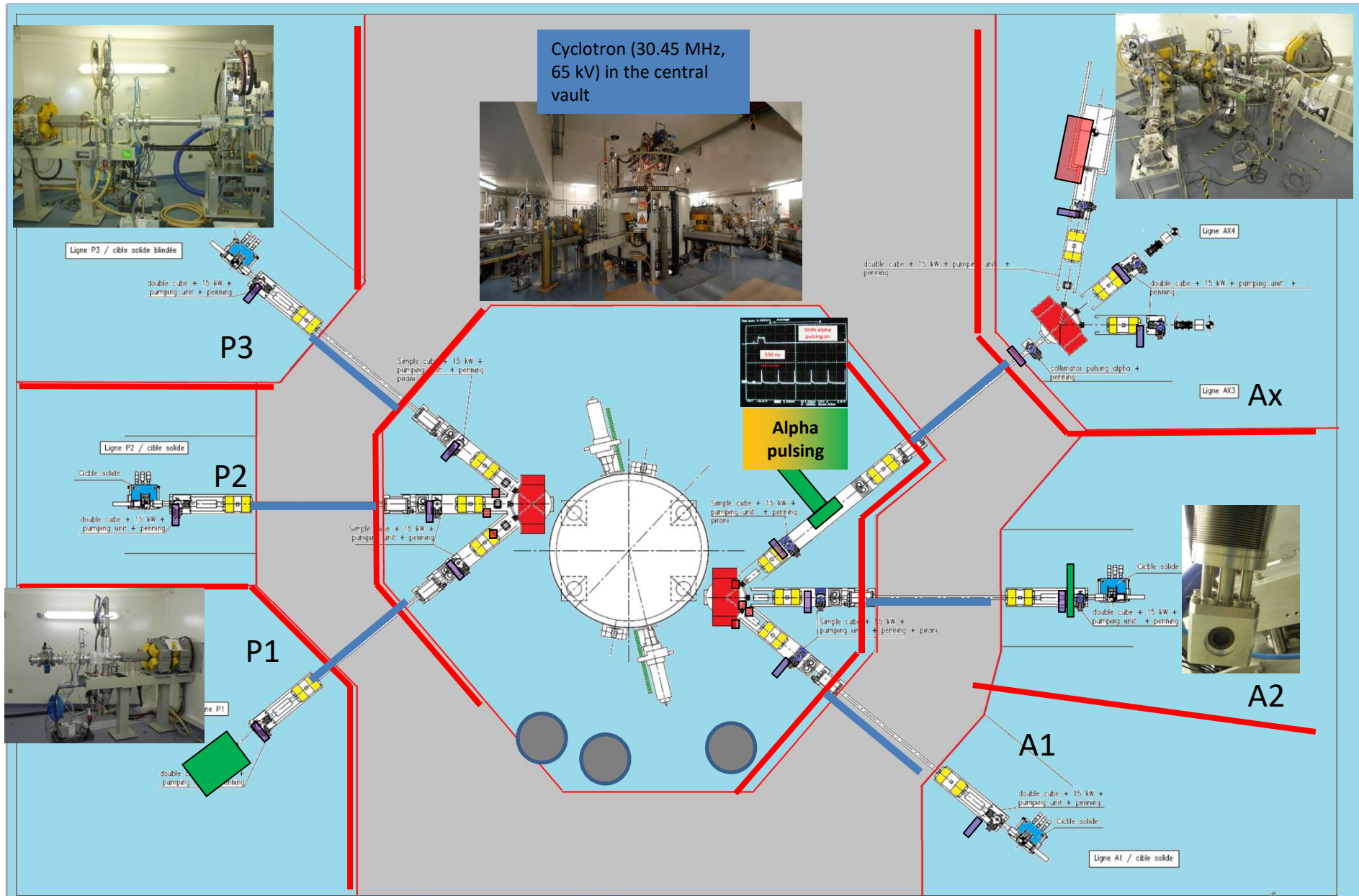


Parcours H<sup>+</sup> 68 MeV dans le quartz ~ 2cm

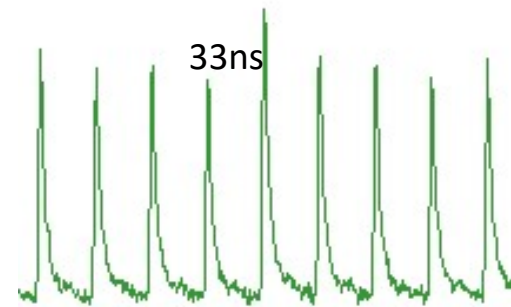
# Plan

- 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 LIGNES DE FAISCEAUX



# Les faisceaux du cyclotron Arronax

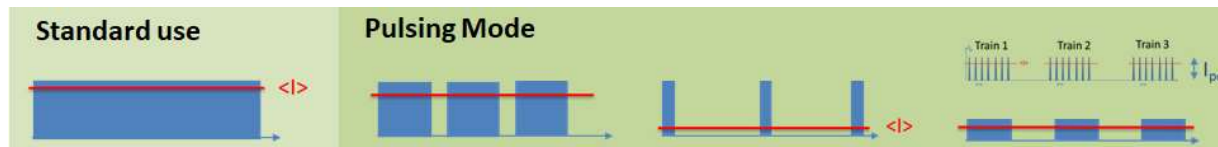


Beam	Accelerated particles	Energy range (MeV)	Range in Water (cm)	Intensity ( $\mu\text{A}$ )
Proton	H-	30-70	0,8-3,8	$10^{-7}$ - 375
	HH+	17	0,3	<50
Deuteron	D-	15-35	0,1-0,6	<50
Alpha	He <sup>++</sup>	68	0,3	$10^{-7}$ - 70

Multi-particules, RF 30,45MHZ

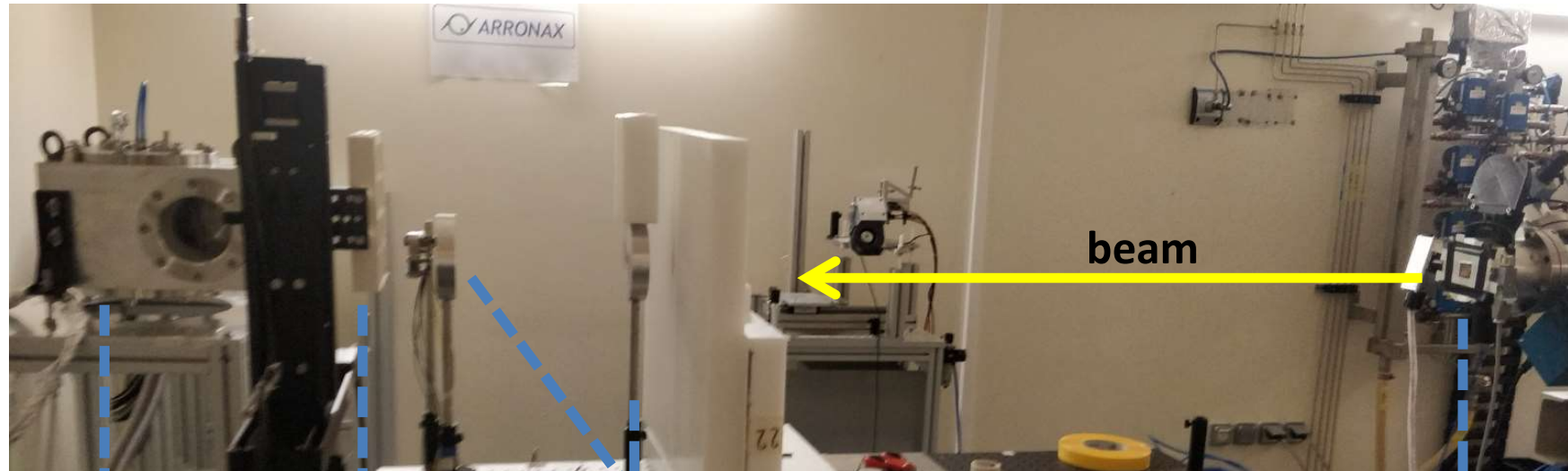
Large plage d'intensité fA → centaines de  $\mu\text{A}$

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





# Dispositif d'irradiation



Faraday Cup

Axe déplacement (X,Y)

Collimateurs

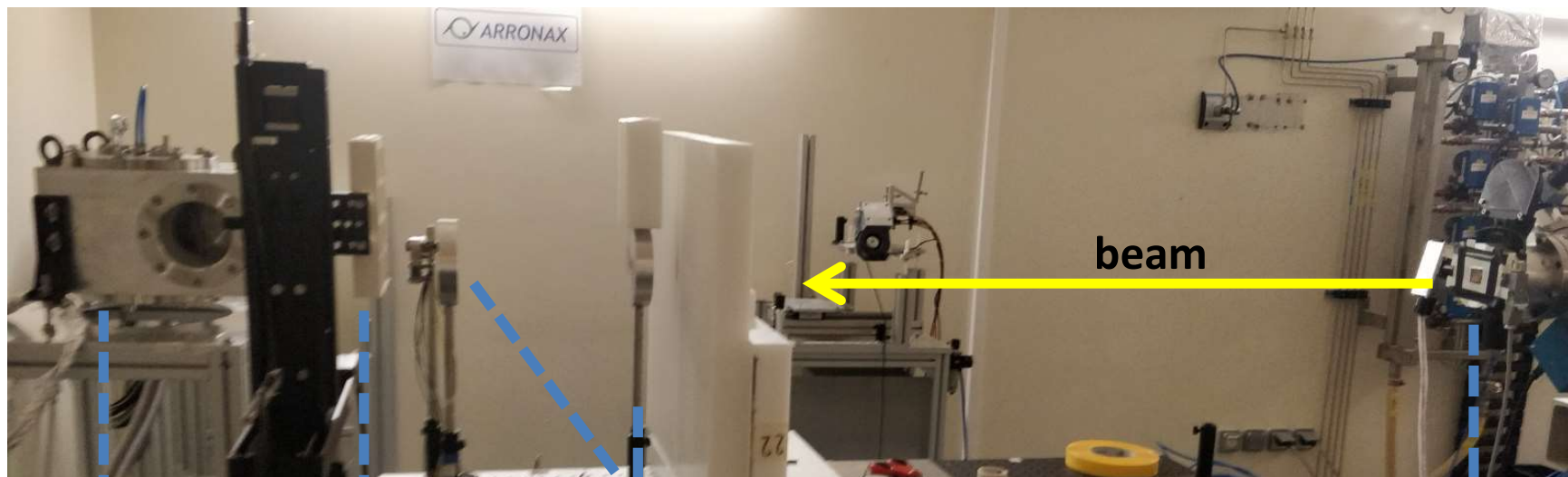
Fenetre de sortie

+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  $68\text{MeV}$  ( $200\text{kGy}$ , surface du champ  $1\text{cm}^2$ )
  - $2\mu\text{A}$  alpha  $68\text{MeV}$



Faraday Cup

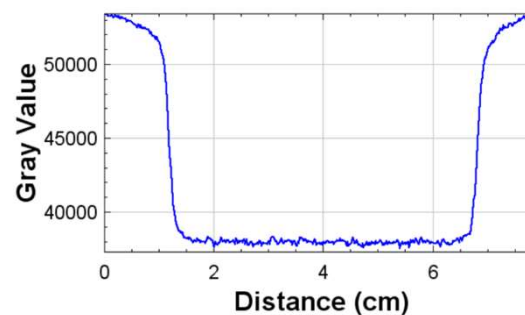
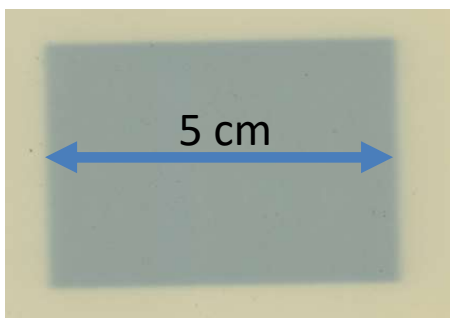
Axe déplacement (X,Y)

Collimateurs

Fenêtre de sortie  
+ système de refroidissement  
+ feuille diffuseur

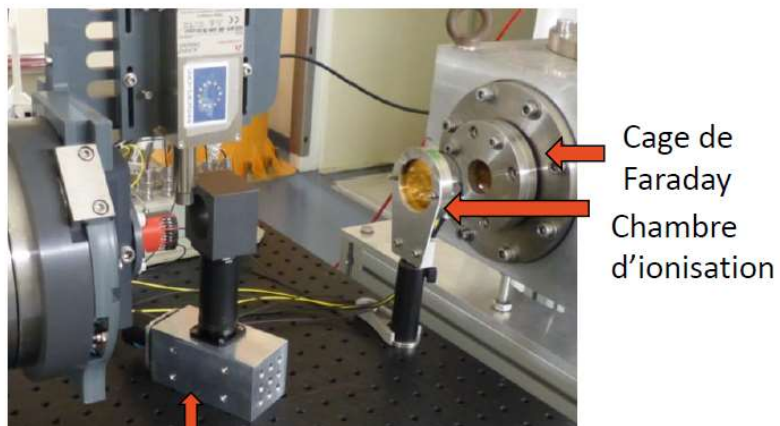
## Homogénéité du champ

- 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

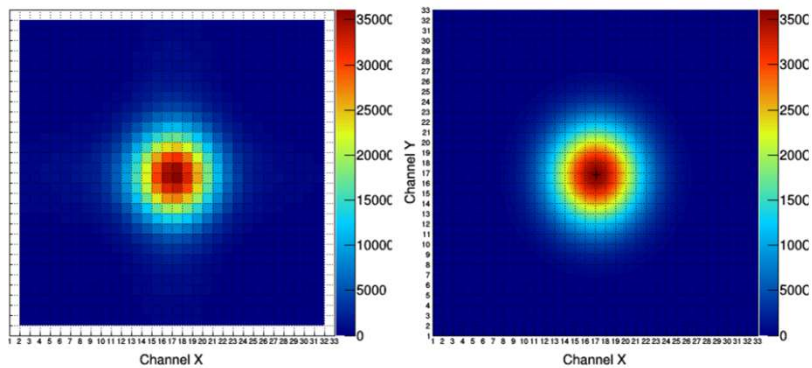
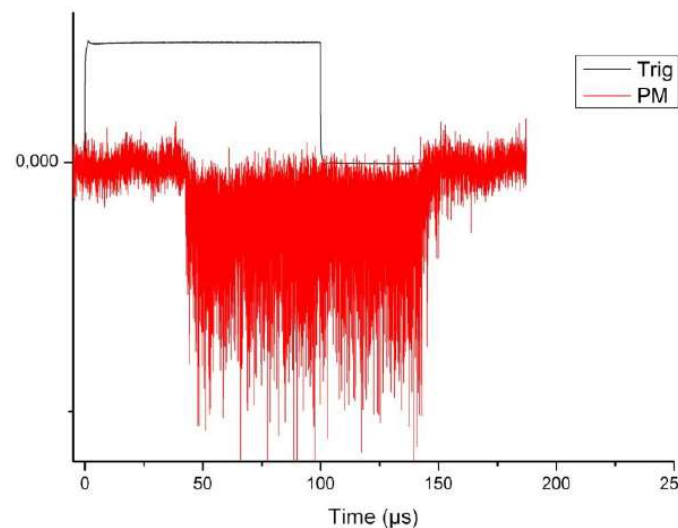
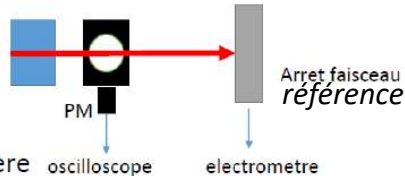


# MONITEUR faisceau (intensité)

Production et maitrise du faisceau



Photomultiplicateur pour détecter la lumière



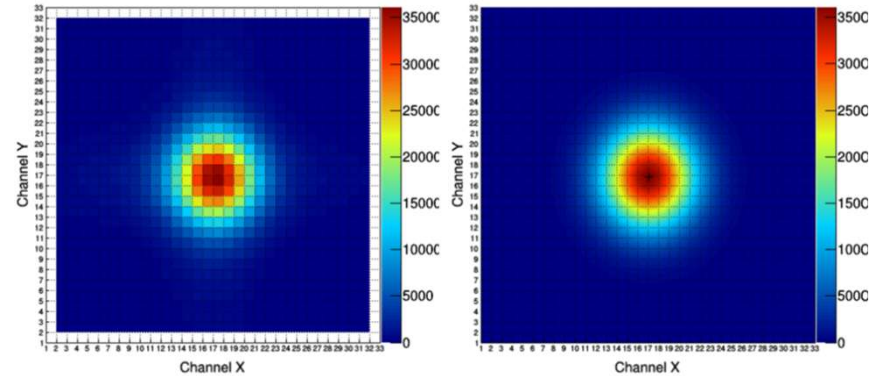


# MONITEUR faisceau (géométrie)

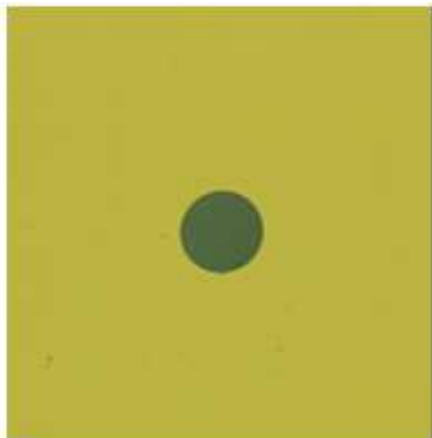
## Analyse en ligne



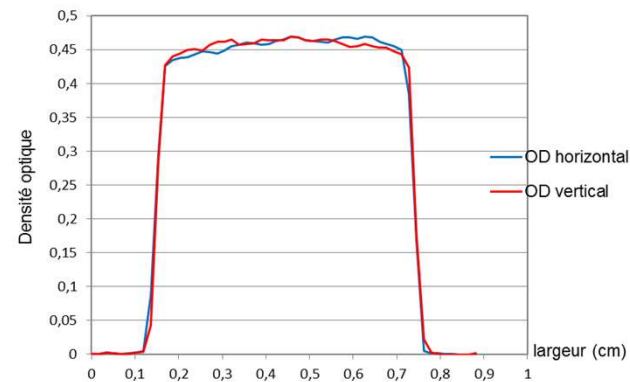
Dosion, chambre pixelisée 32 X, 32 Y



## Analyse hors faisceau



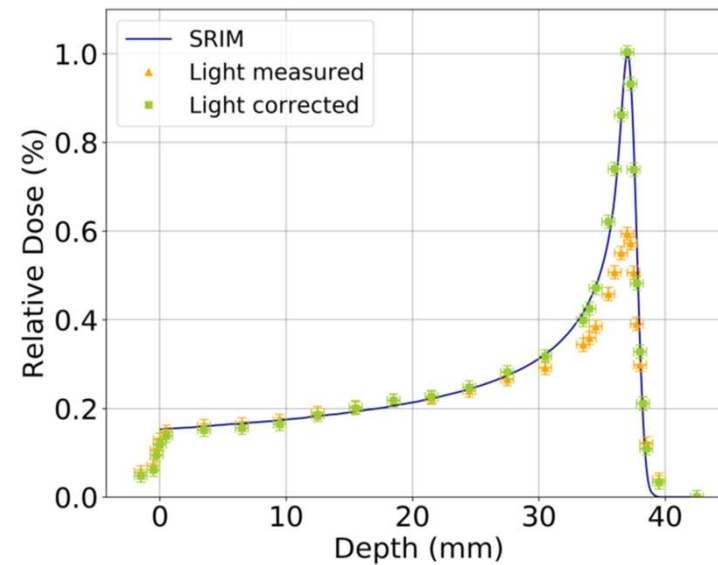
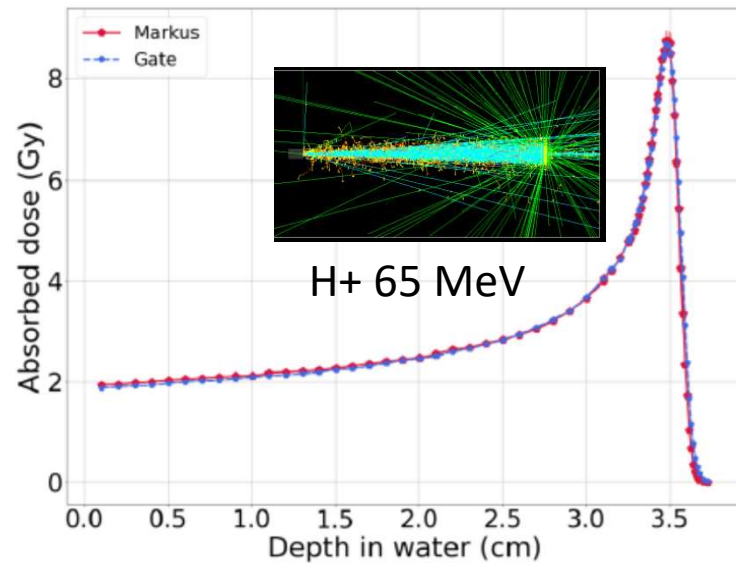
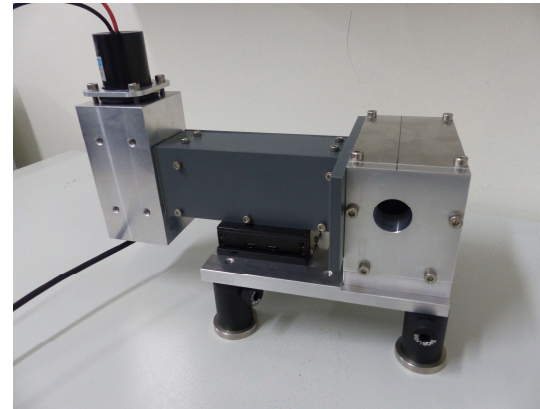
Radiochromic film EBT3



# MONITEUR faisceau énergie

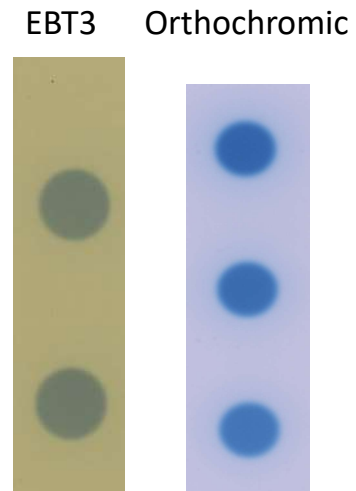
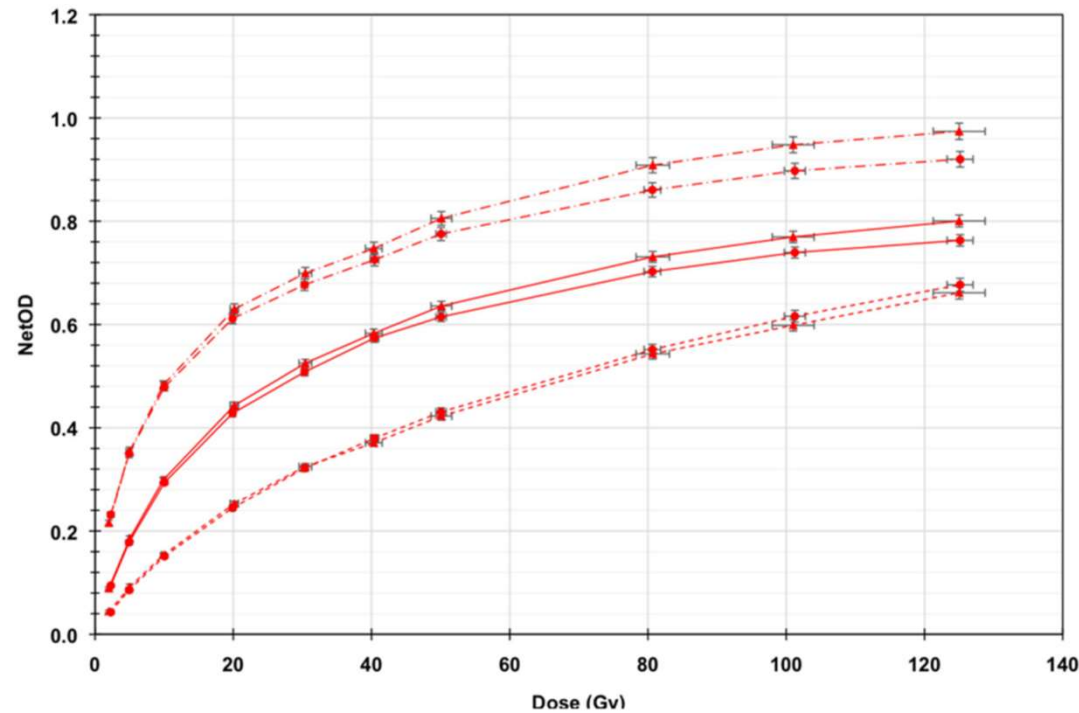


Markus PTW



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

# Dosimétrie par film

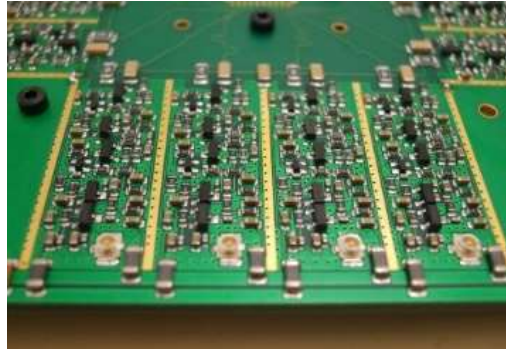


Ultra-High Dose Rate (UHDR) 10kGy/sec  
Conventionnel: 15 Gy/min

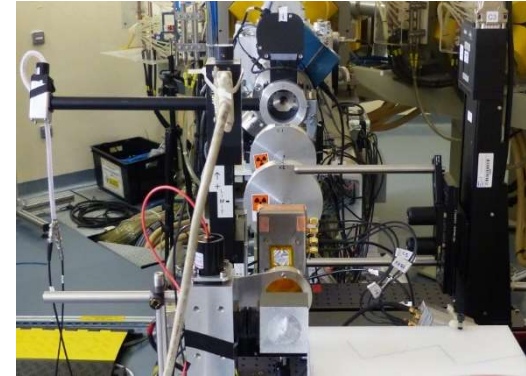
Villoing D. et al. Proton beam dosimetry at ultra-high dose rates (FLASH): Evaluation of GAFchromic (EBT3, EBT-XD) and OrthoChromic (OC-1) film performances. Med Phys. 2022 Feb 18. doi: 10.1002/mp.15526.



Diamond detector

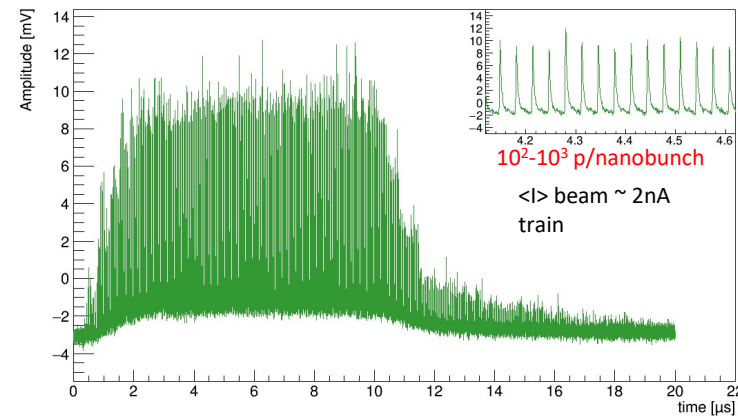


Electronic readout, QDC



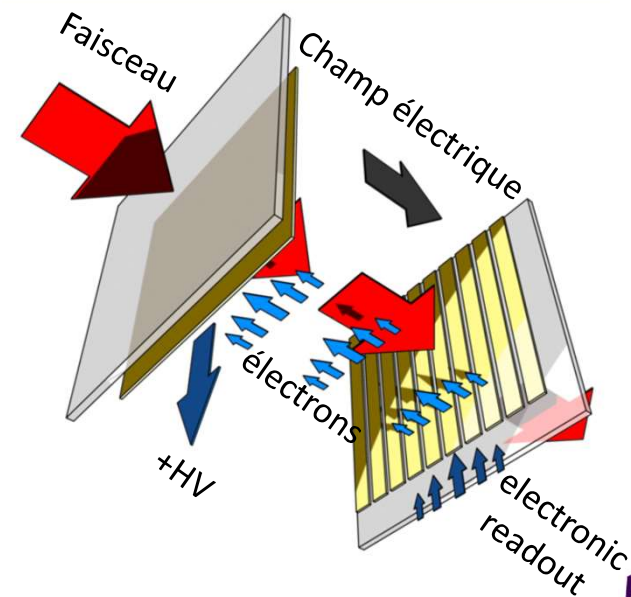
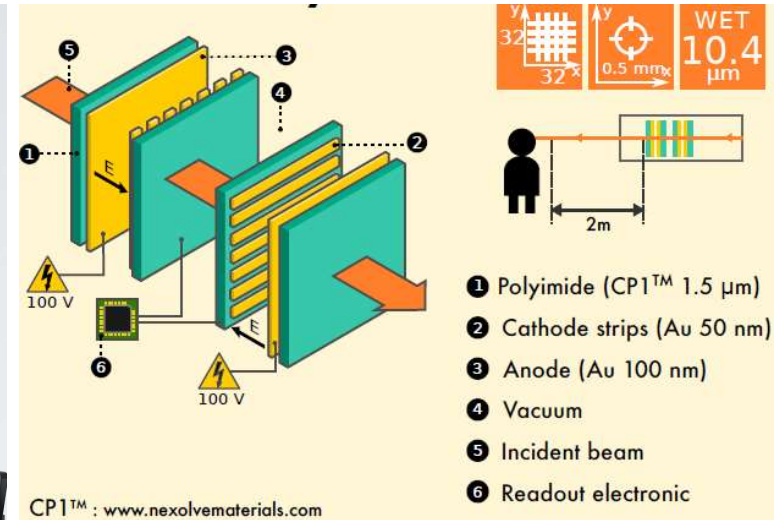
- **Bunch Counting** : mode continu, entre 1 et 100 particules par bunch (<1nA)
- **Train Counting** : mode pulsé, au-delà de 100 particules par bunch, jusqu'à 1μA sur détecteur (FLASH)

*Thèse Robin Molle (en cours)*





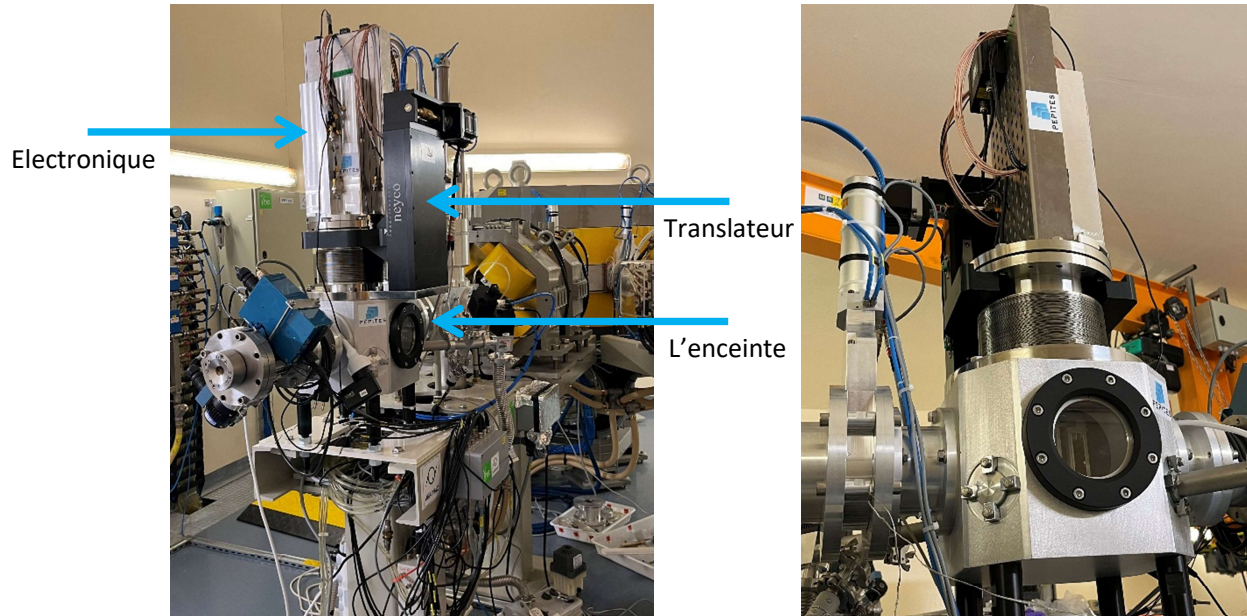
# PEPITES



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



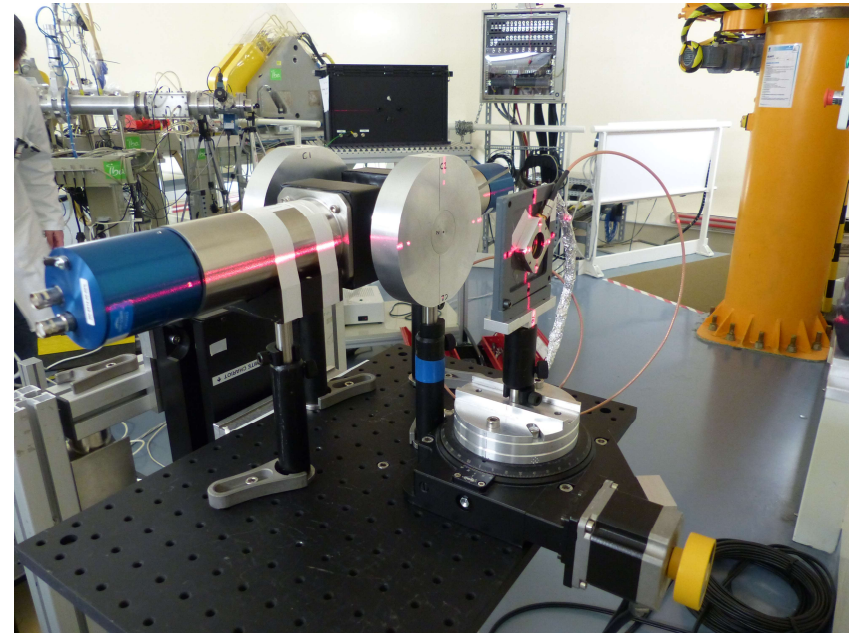
Caractérisation avec un faisceau de proton de 68 MeV :

- 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/cm<sup>2</sup>/sec

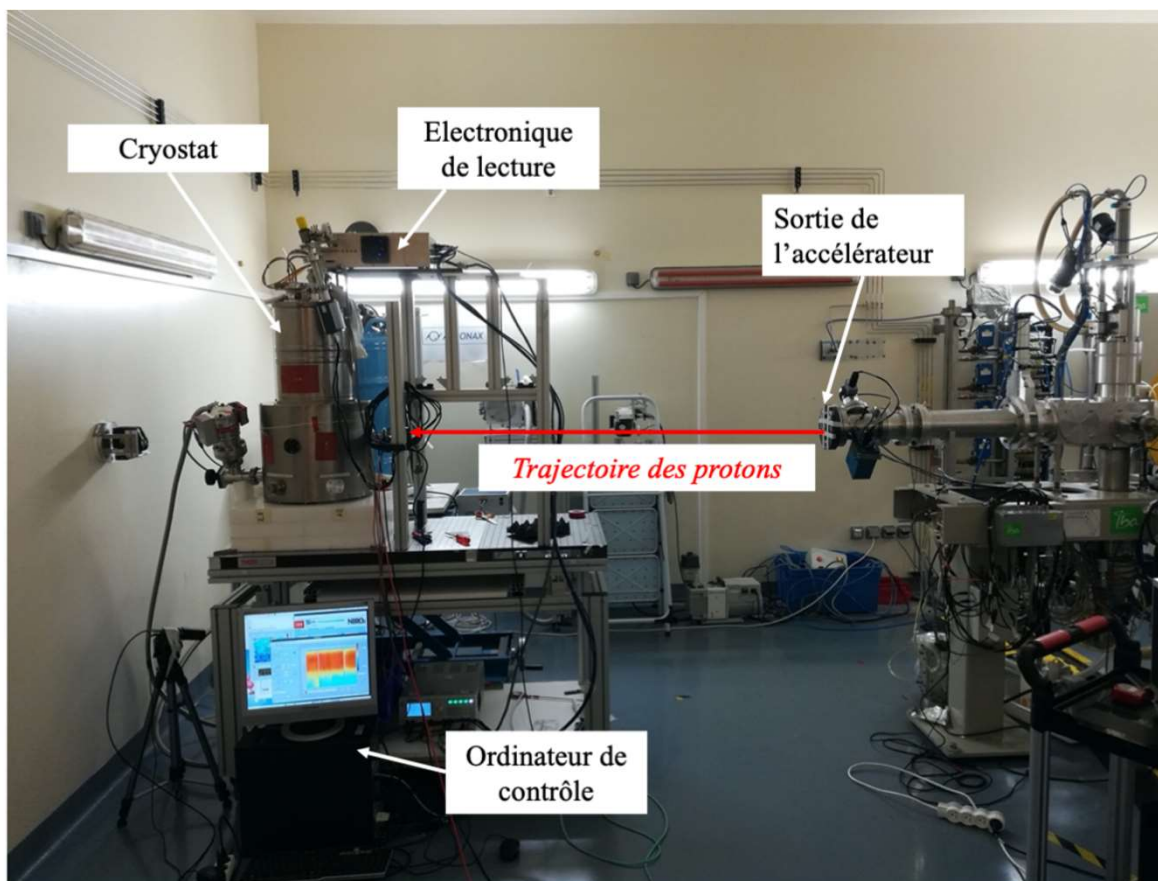


Dispositif pour simuler  
le module Dorn



# 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:  
1cm<sup>2</sup>

-Faisceau:  
Protons 50 MeV

-Flux:  
50 protons/cm<sup>2</sup>/sec

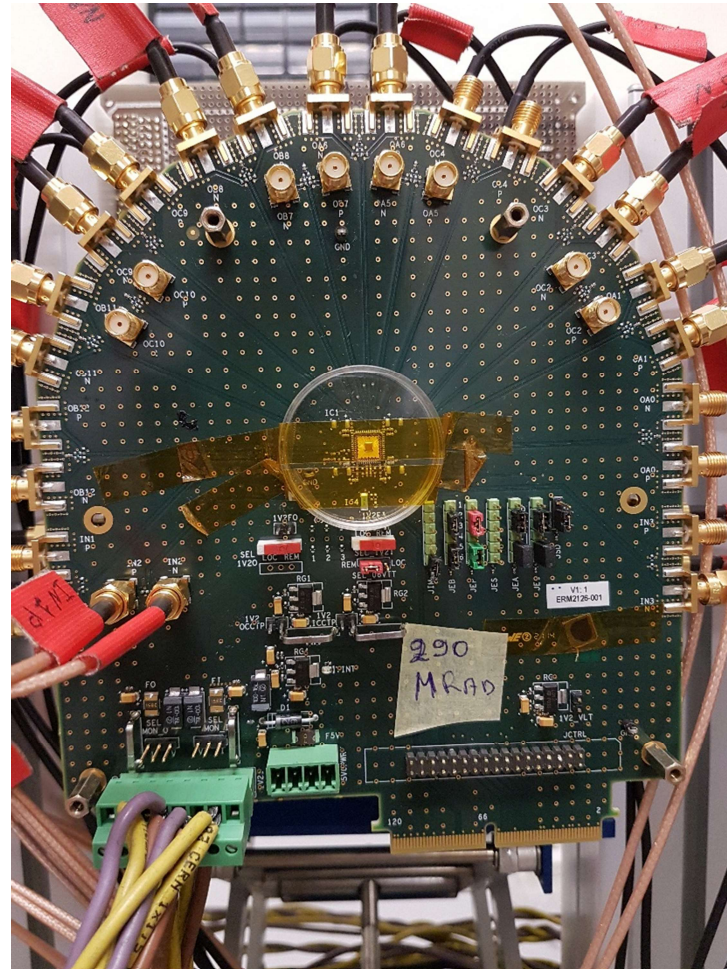


# Irradiation des cartes électroniques pour le CERN (Christophe de la Taille)

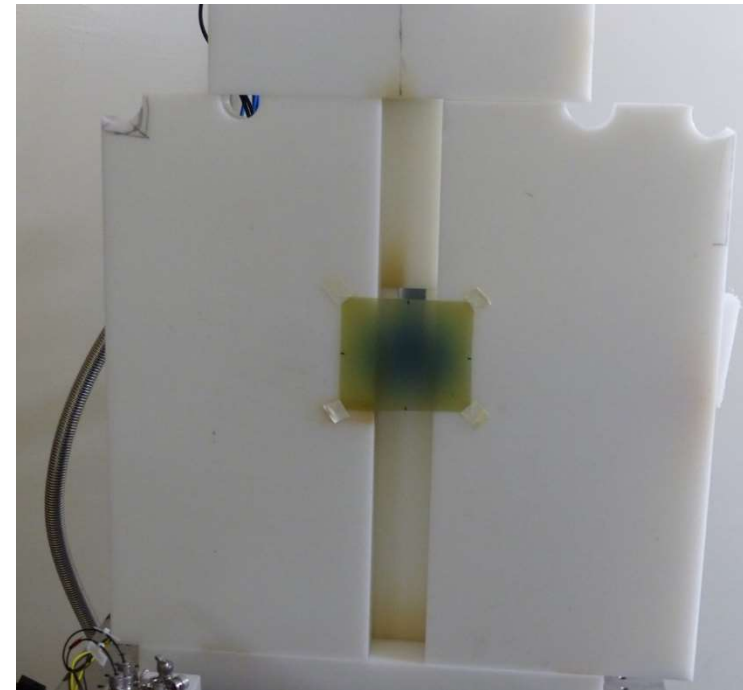
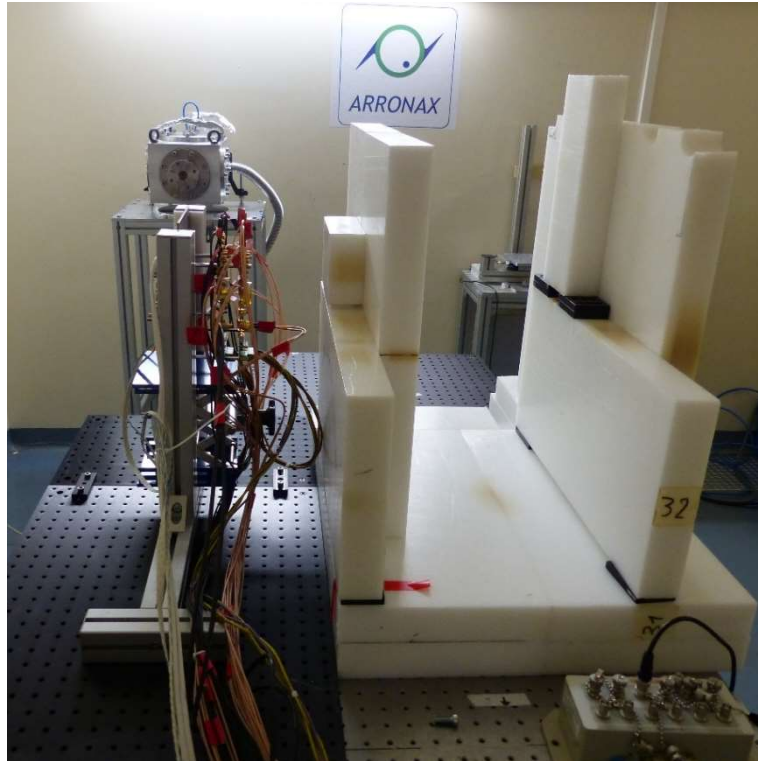
Objectif: Caractérisation du taux d'erreur de l'électronique numérique durcis ou nombre des erreurs par proton incident



# Irradiation des cartes électroniques pour le CERN



# Irradiation des cartes électroniques pour le CERN

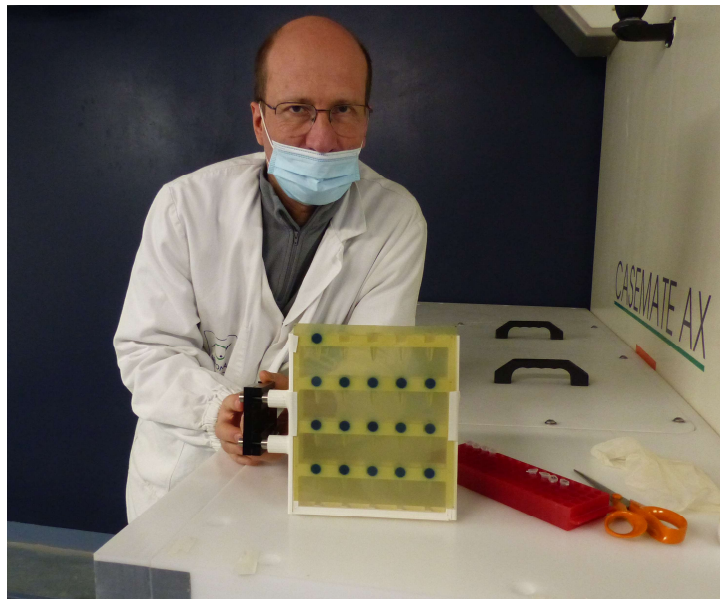


H<sup>+</sup> 68 MeV, taille de champ: 1cm<sup>2</sup>

Flux: 1pA-12nA\*/cm<sup>2</sup>/sec

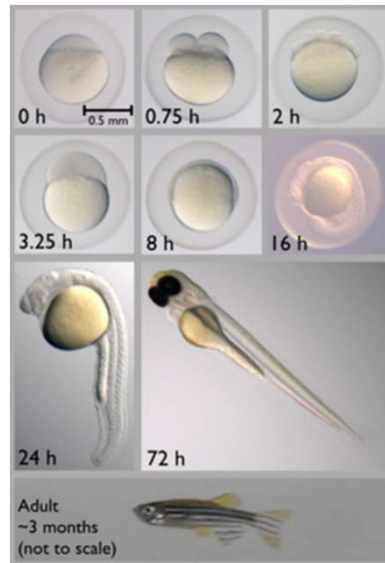
\*1nA= 6 milliards protons/sec

# Irradiations Flash

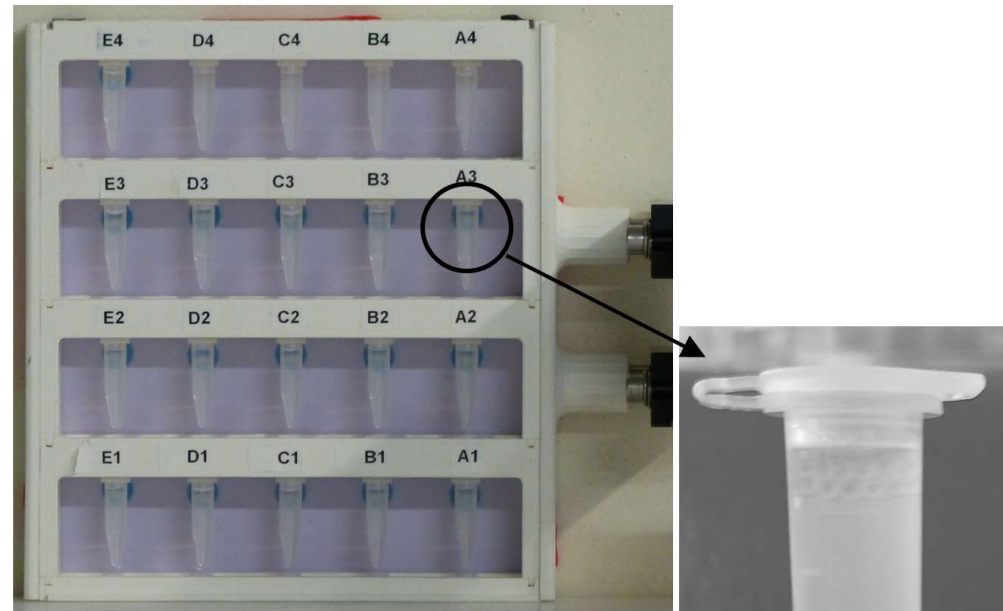




# Irradiations des Zebrafishs



Embryons Zebra fish

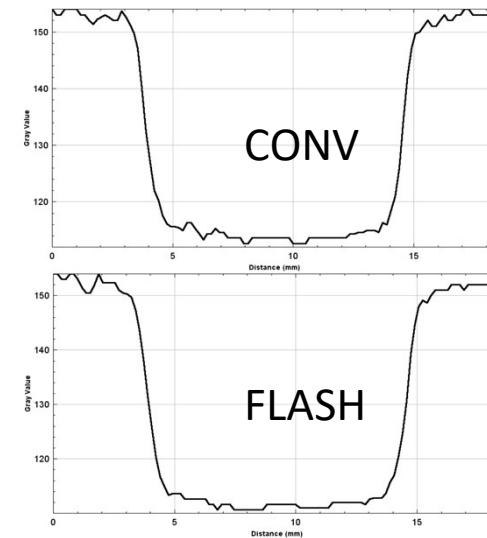


## Conditions d'irradiations:

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/cm<sup>2</sup> → 10<sup>10</sup> ion /sec/cm<sup>2</sup>
  - Taille de champ homogène jusqu' 'au 10cm<sup>2</sup>