

# Contrôle en ligne du faisceau FLASH au cyclotron ARRONAX

AG GDR MI2B 2022

Pôle radiothérapies innovantes

# Objectifs :

Caractéristiques de moniteur faisceau FLASH :

→ Mesurer le nombre de particules incidentes:

→ Dans chaque pulse

→ Pour des courants allant jusqu'à quelques dizaines de  $\mu\text{A}$

→ Mesurer la structure temporelle du faisceau

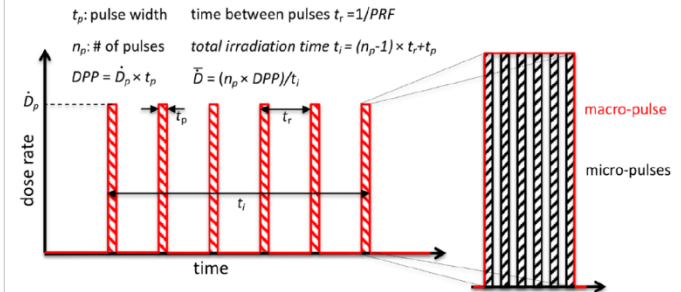
→ Nombre de pulses

→ Largeur des pulses

→ Mesurer la structure géométrique du faisceau

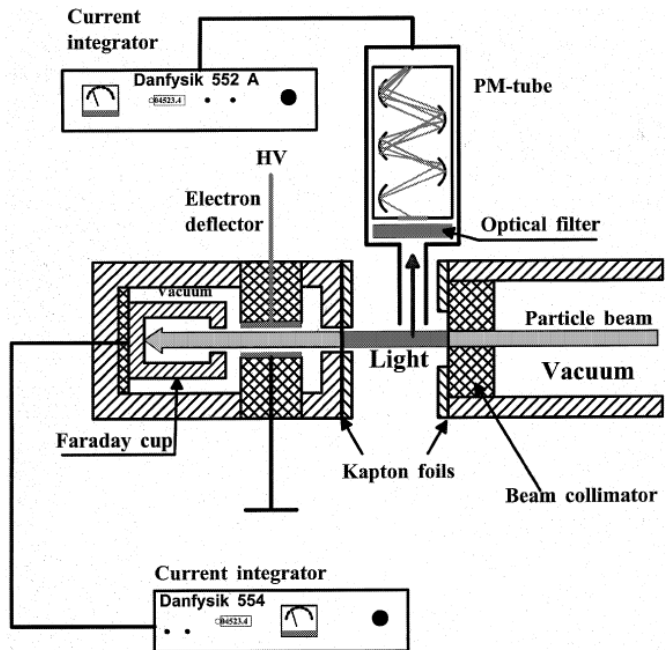
→ Différentes formes de faisceau (largeur de qq mm à qq 10aines de cm)

## Structure du faisceau utilisé en FLASH

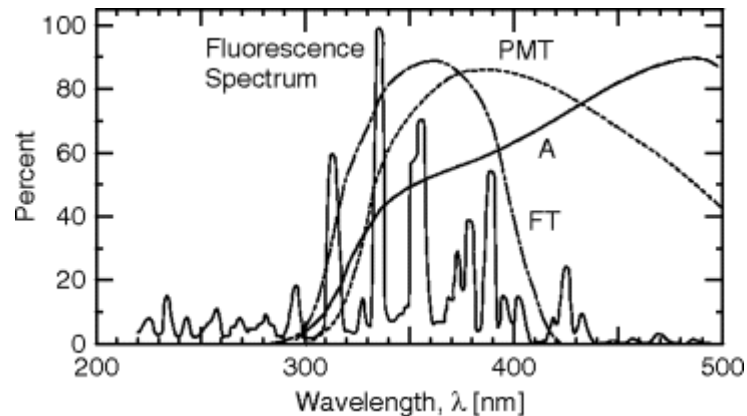


N. Esplen *et al.* 2020 Phys. Med. Biol. 65 23TR03

# Monitoring of the beam using the fluorescence of air

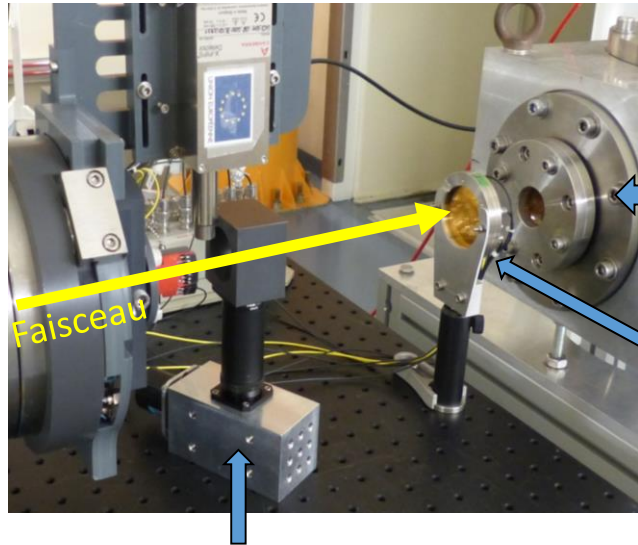


- Méthode développée pour l'analyse par faisceaux d'ions
- Lumière émise par les molécules d'azote de l'air, excitées par le faisceau
- Longueur d'onde émise est dans le domaine de l'UV : autour de 337 nm



J. -O. Lill, Nucl. Instr. And Meth. In Phys. Res. B 150 (1999) 114-117

# Monitorage du faisceau : montage expérimentale



Cage de Faraday (FC) :  
**Mesure de référence  
pour l'intensité  
faisceau**

Chambre d'ionisation  
à plaque parallèle à transmission :  
pour le monitoring du faisceau  
conventionnel (faible débit de dose)

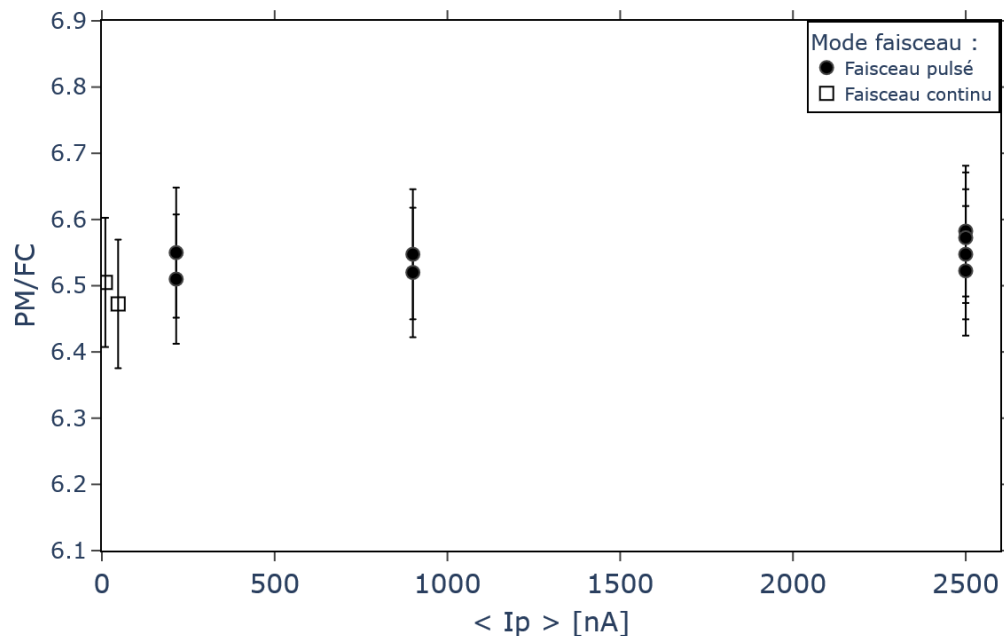
Tube photomultiplicateur (PM) :

**pour le monitoring du faisceau UHDR**

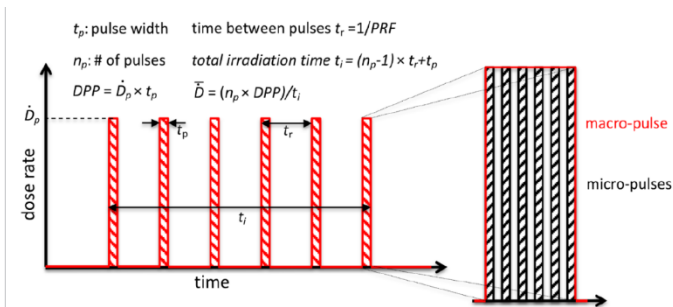
- Gamme de sensibilité en mode continu  
> 100 pA (dépend du dark current du PM)
- Adaptée pour les hautes intensités  
(électronique déportée)
- Précision dépend de la fluctuation  
du courant du PM : de l'ordre de 1,5 %
- Réponse du PM rapide  
(temps de montée 2,2ns)  
permet de suivre les pulses du faisceau

- Photomultiplicateur (Hamamatsu R955) pour détecter la lumière émise par l'air
- Courants mesurés à l'aide d'un électromètre PTW MULTIDOS

# Caractérisation PM : Protons – nombre de pulses : infini



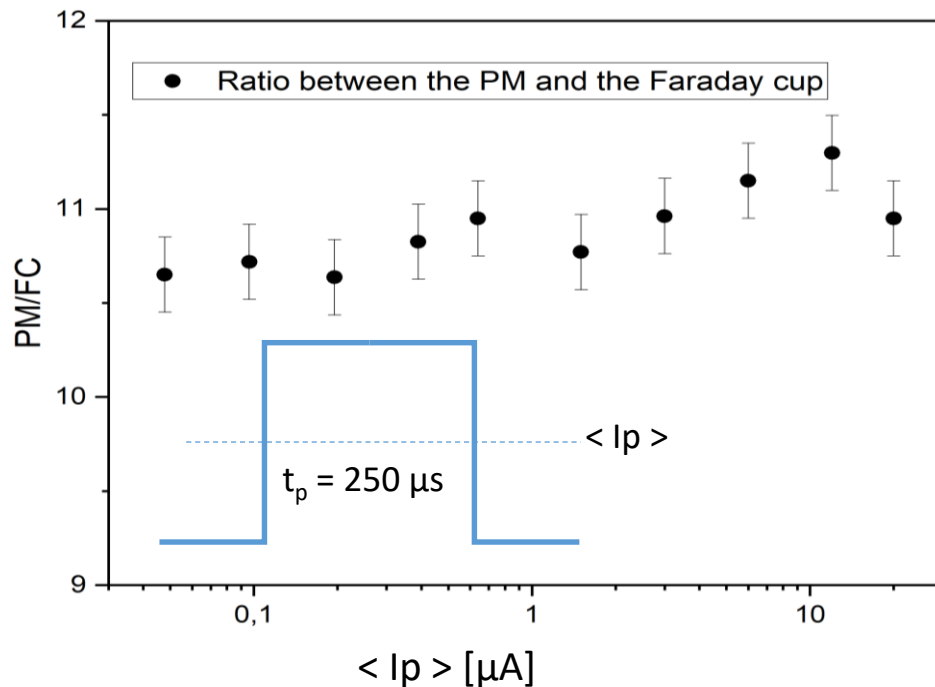
## Structure du faisceau utilisé en FLASH



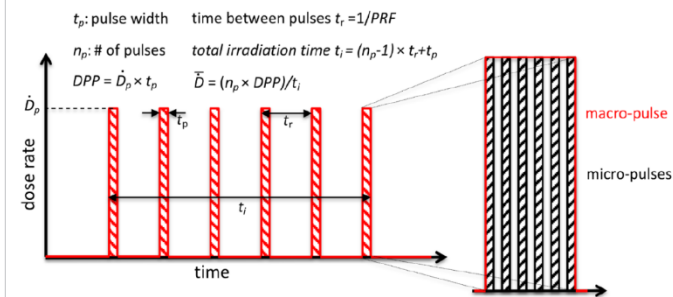
N. Esplen *et al.* 2020 Phys. Med. Biol. 65 23TR03

➤ La variation de réponse du PM en mode pulsé par rapport au mode continu est entre 1 et 2 %

# Caractérisation PM : Protons – nombre de pulses : unique



## Structure du faisceau utilisé en FLASH

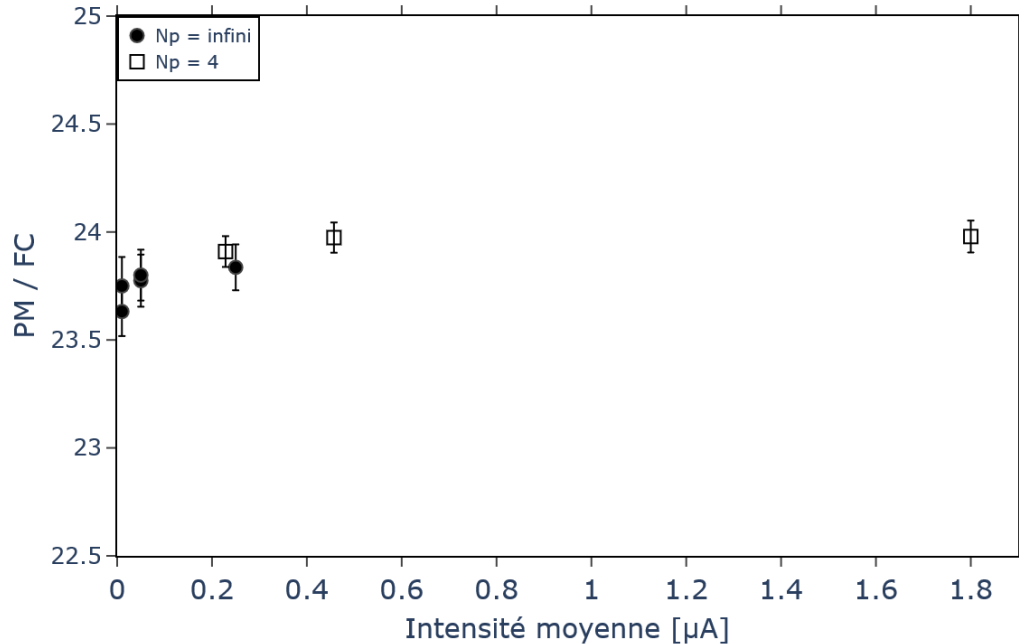


N. Esplen *et al.* 2020 Phys. Med. Biol. 65 23TR03

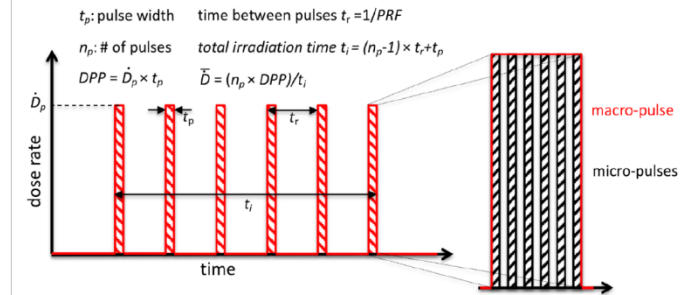
➤ La mesure de charge du PM est constante à +/- 3 %

# Caractérisation PM :

## Alpha – variation intensité moyenne



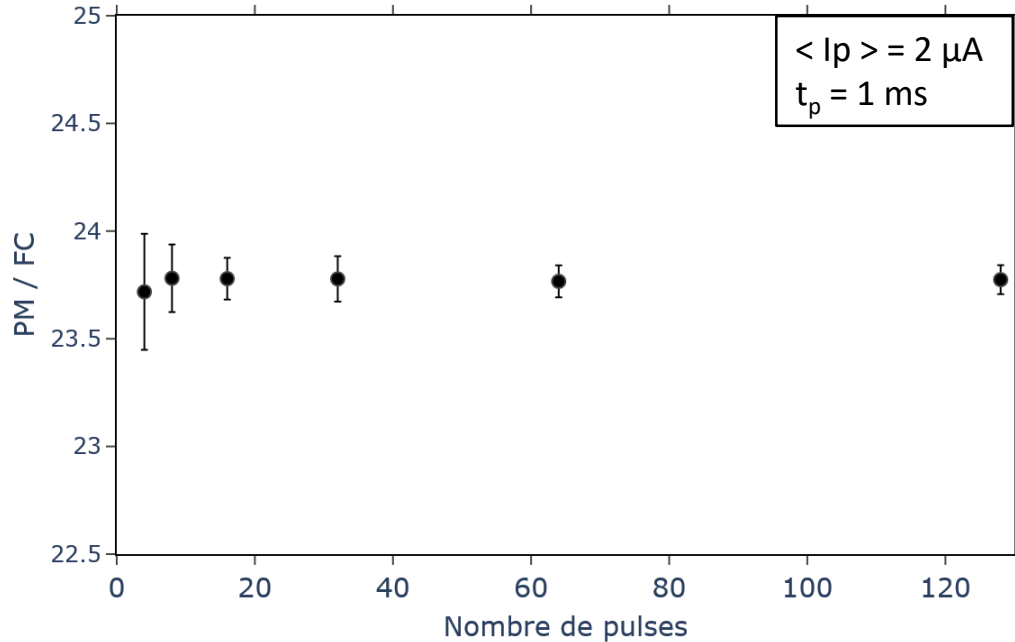
### Structure du faisceau utilisé en FLASH



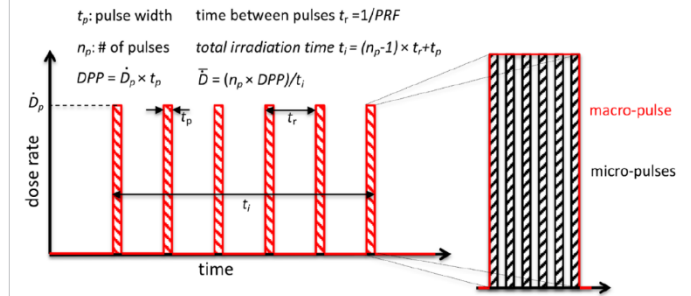
N. Esplen *et al.* 2020 Phys. Med. Biol. 65 23TR03

➤ La mesure de charge du PM est constante à +/- 1 %

# Caractérisation PM : Alpha – variation nombre pulses



## Structure du faisceau utilisé en FLASH



N. Esplen *et al.* 2020 Phys. Med. Biol. 65 23TR03

➤ Différentes structures de faisceaux pulsés → mesure de charge du PM constante

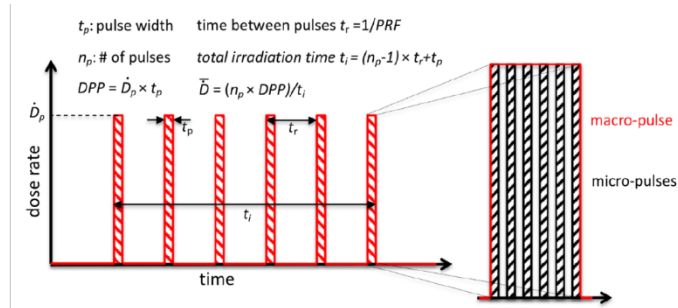


# Résumé :

## Caractérisation PM

- Détecteur PM permet de mesurer le nombre de particules incidentes dans un pulse :
  - Pour différentes structures de faisceau pulsé (différentes intensités)
  - Avec un rapport PM/FC constant à 3 % près sur une large gamme d'intensité

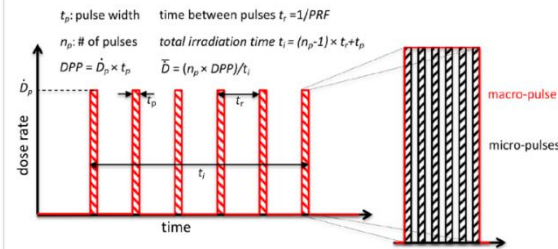
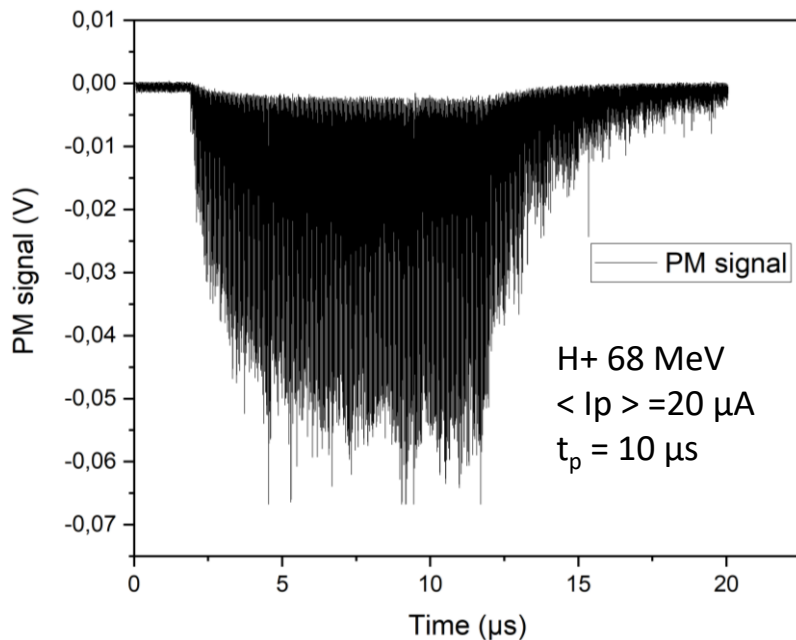
### Structure du faisceau utilisé en FLASH



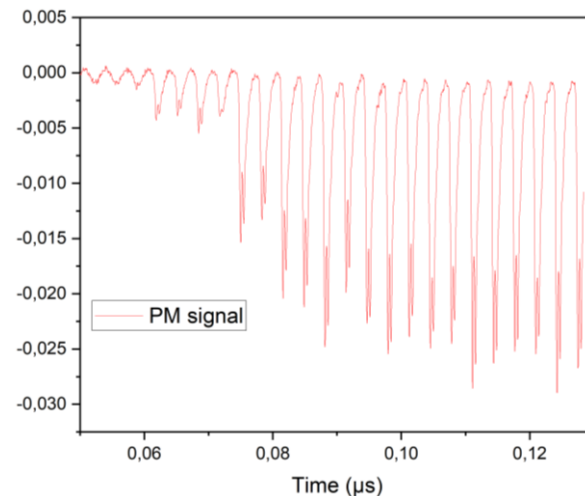
N. Esplen *et al.* 2020 Phys. Med. Biol. 65 23TR03

# Monitorage du faisceau pulsé : Structure temporelle du faisceau

Structure du faisceau utilisé en FLASH



N. Esplen *et al.* 2020 Phys. Med. Biol. 65 23TR03



- A haute intensité, permet de visualiser chaque paquet
- Départ du train peut être détecté avec une précision de l'ordre de la ns

# Conclusions

- La plateforme d'irradiation d'Arronax a un large choix de faisceaux jusqu'au 70 MeV
- Deux modes de délivrance: continu et pulsé, débit de dose 0,02 Gy/sec → 200 kGy/sec (plateau de pic de Bragg)
- Un moniteur de l'intensité du faisceau (à fort débit) basé sur la détection de la fluorescence de l'air avec un PM a été mis en place
- Le dispositif de détection de la lumière émise par l'air, au cyclotron Arronax, permet de monitorer un faisceau continu à partir de 100 pA et un faisceau pulsé allant jusqu'à 20  $\mu$ A.
- La réponse du moniteur est linéaire (< 3%) sur une large plage d'intensité, pour différentes structures temporelles

## Etape suivante:

- Construire un profileur faisceau pour mesurer les structures géométrique et temporelle dans un pulse
- Tester le moniteur avec d'autres faisceaux : électrons ?

# Remerciements



Noël Servagent  
Guillaume Blain  
Teddy Durand  
Arnaud Guertin  
Vincent Métivier



Charbel Koumeir  
François Bulteau-Harel  
Emeline Craff  
Manon Evin  
Ferid Haddad  
Freddy Poirier



Sophie Chiavassa  
Grégory Delpon  
Vincent Fiegel



Sylvain Deffet  
Rudi Labarbe  
Stéphane Lucas  
Séverine Rossomme



Lucas Schoenauen



Edmond Sterpin



Pascal Manigot  
Christophe Thiebaut  
Marc Verderi



Laurent Gallin-Martel  
Marie-Laure Gallin-Martel  
Denis Dauvergne  
Robin Molle