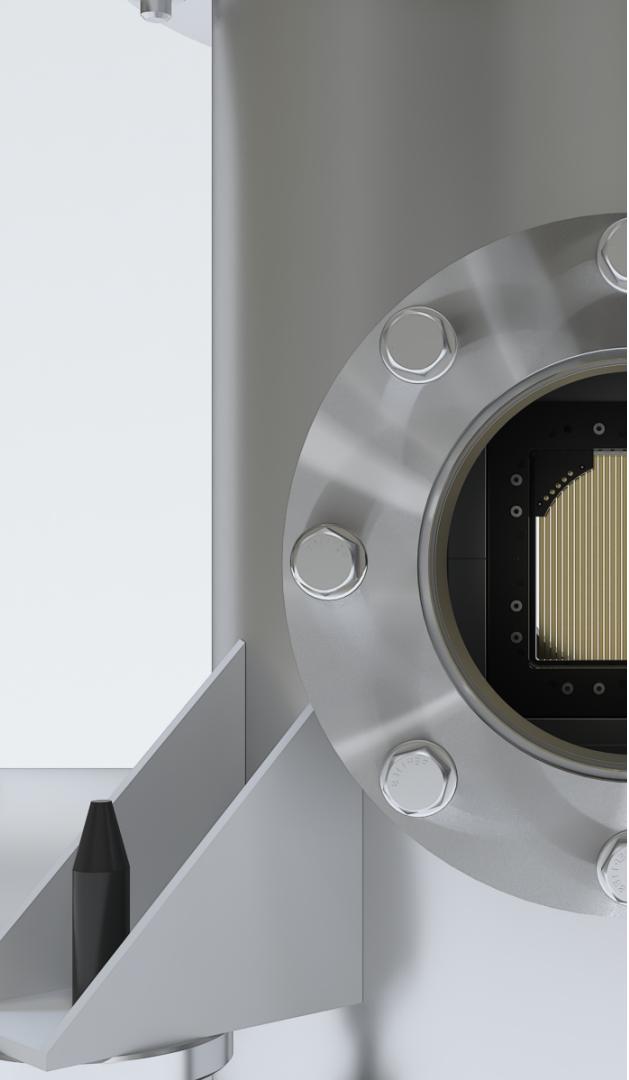


DÉVELOPPEMENT D'UN PROFILEUR TRANSPARENT BASÉ SUR L'ÉMISSION D'ÉLECTRONS SECONDAIRES POUR LES FAISCEAUX DE PARTICULES CHARGÉES

C. Thiebaux
Laboratoire Leprince-Ringuet



Laboratoire
Leprince-Ringuet



ARRONAX



cea



ANR B2io
Physique des 2 Infinis et des Origines



cnrs



INSTITUT
POLYTECHNIQUE
DE PARIS

Auteurs

Le consortium PEPITES

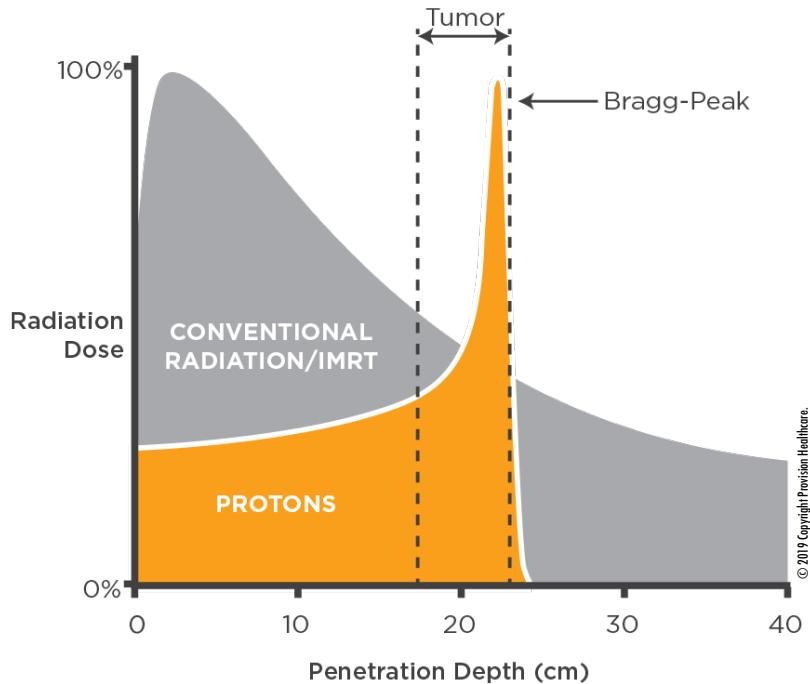


- Y. Geerebaert, R. Guillaumat, F. Magniette, P. Manigot, C. Thiebaux, M. Verderi
Laboratoire Leprince-Ringuet CNRS-Ecole polytechnique-
Institut Polytechnique de Paris, Palaiseau, France
- F. Haddad, C. Koumeir, F. Poirier,
Cyclotron ARRONAX, Saint-Herblain, France 
- E. Delagnes, F.T. Gebreyohannes, O. Gevin
IRFU-CEA, Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, France
- G. Blain, N. Michel, N. Servagent, T. Sounalet
Laboratoire SUBATECH IMT Atlantique, Nantes, France 

Funded by the French National Agency for Research (ANR), France ([ANR-17-CE31-0015](#)) and the labex P2IO.
ANR grant "Investissements d'Avenir", Equipex Arronax-Plus ([ANR-11-EQPX-0004](#)), Labex IRON ([ANR-11-LABX-18-01](#)) and ISITE NExT ([ANR-16-IDEX-0007](#)).

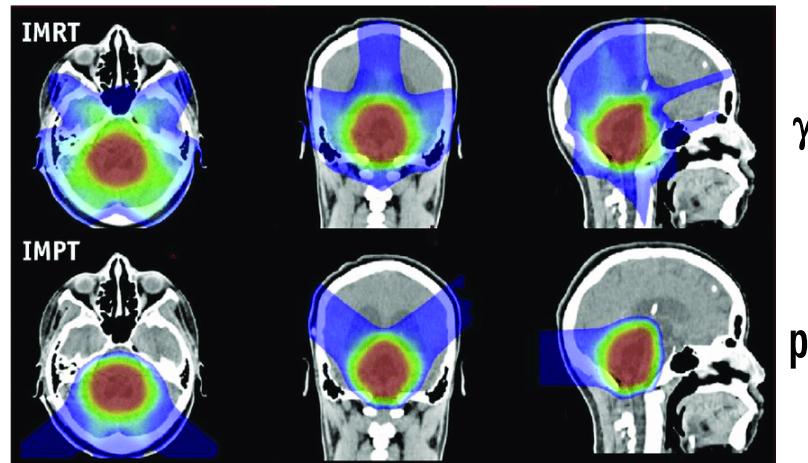
Introduction

La protonthérapie



Indications:

- Tumeurs résistantes
- Non opérables
- Pédiatrie

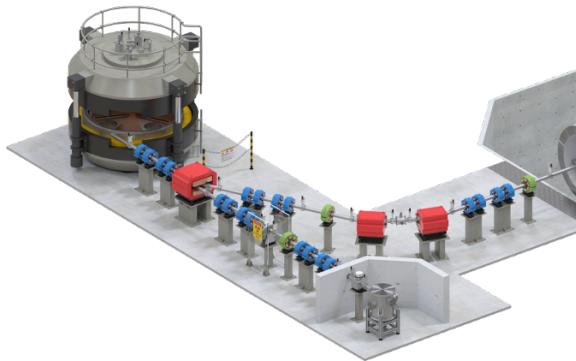


D.J. Indelicato et al. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2016.06.2446

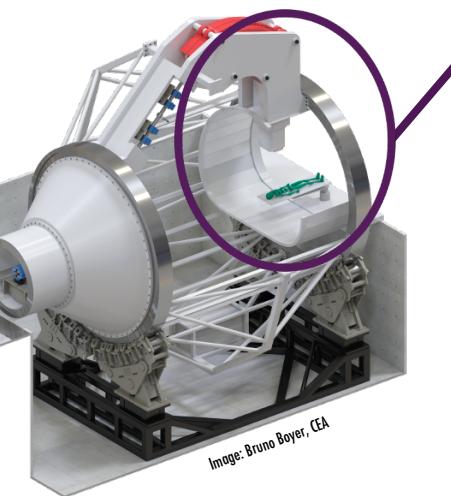
Introduction

La protonthérapie

Cyclotron



Gantry



Treatment room



Image IBA

$70 \text{ MeV} < E < 230 \text{ MeV}$

$2\text{-}4 \text{ Gy / min}$
 $40\text{-}50 \text{ Gy treatment}$

Introduction

Mesurer sans perturber

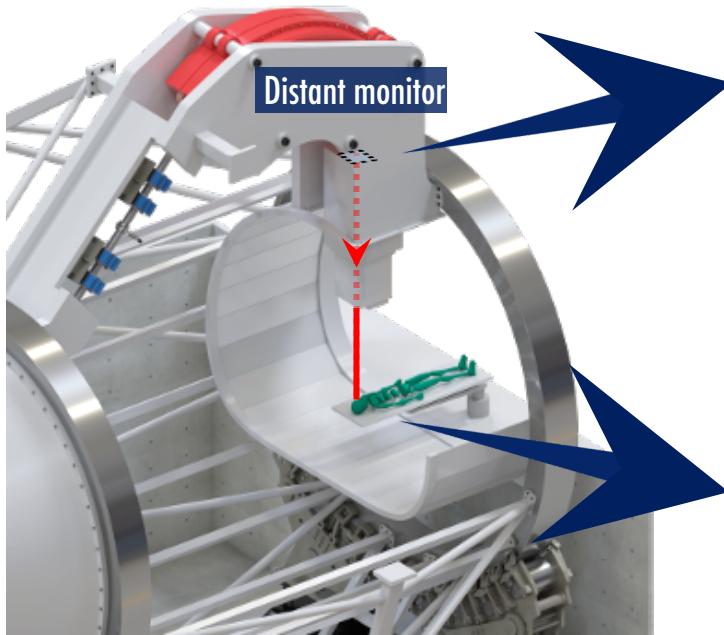
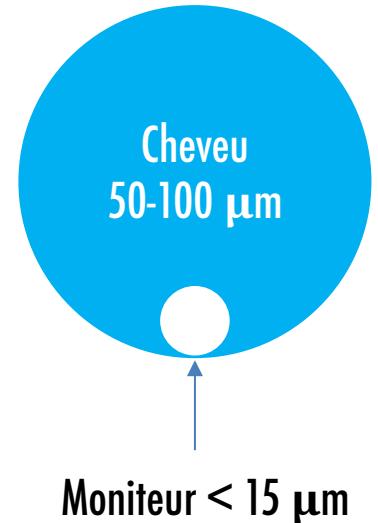
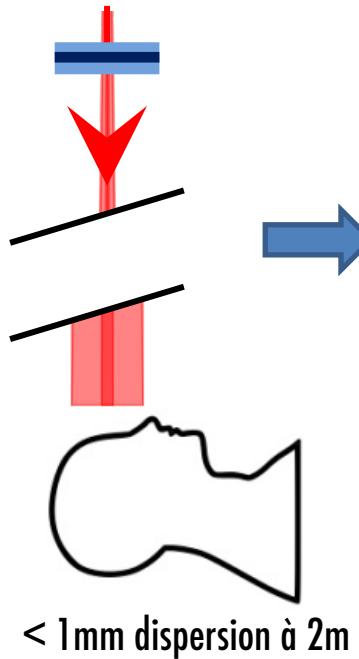


Image: Bruno Boyer, CEA



Introduction

Specifications

Buts



Perturbation faisceau minimale
→ Budget matière: 10 µm WET

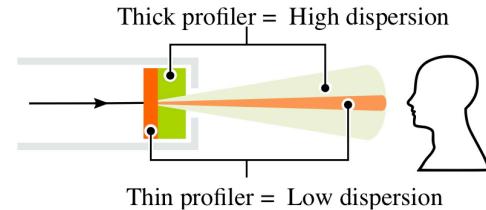


Dose déposée minimale 10^8 Gy
→ Radiorésistance

Stratégie

- PEPITES (Profileur à Electrons secondaires Pour Ions ThérapeutiquES)
- Développement d'un prototype fonctionnel complet (2021) pour un fonctionnement en routine au cyclotron ARRONAX
- Expérience pour les machines d'hadronthérapie

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

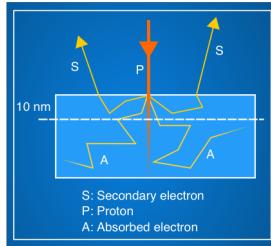


Profileur à Electrons Pour Ions ThérapeutiquES

Signal

Secondary Electrons Emission (SEE) :

- Phénomène de surface
- Basse énergie (qq eV)
- Fonctionne dans le vide
- Taux proportionnel au dE/dx
- Linéaire avec courant faisceau
- High signal= high Z → Au



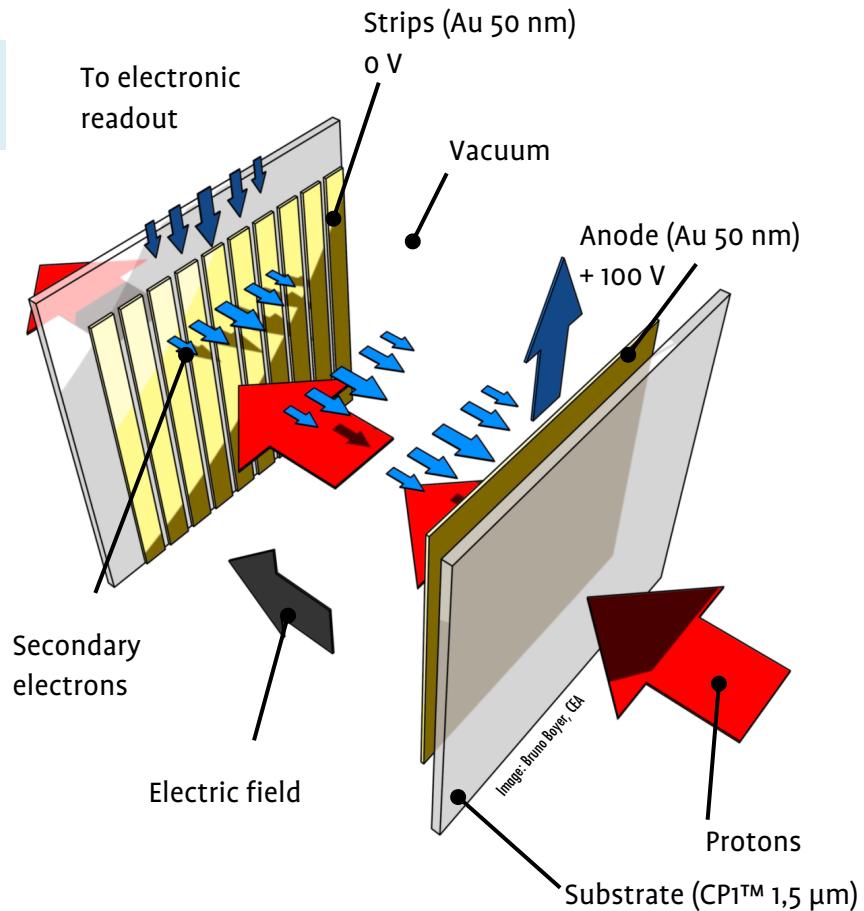
Substrat

CP1™ (Colorless Polyimide) :

- Thermostable
- Radiorésistant
- Pour les voiles solaires !

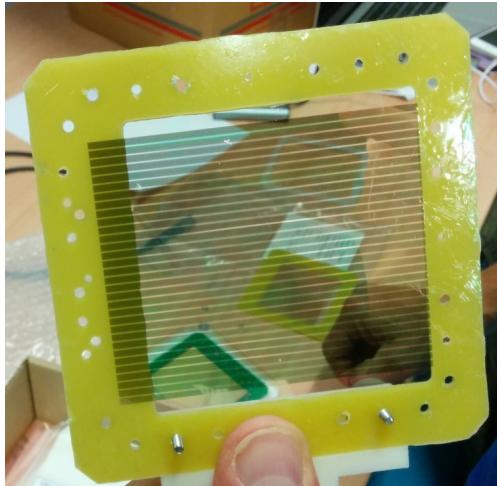
Fabrication

Thin film methods: Chemical Vapor Deposition (CVD)

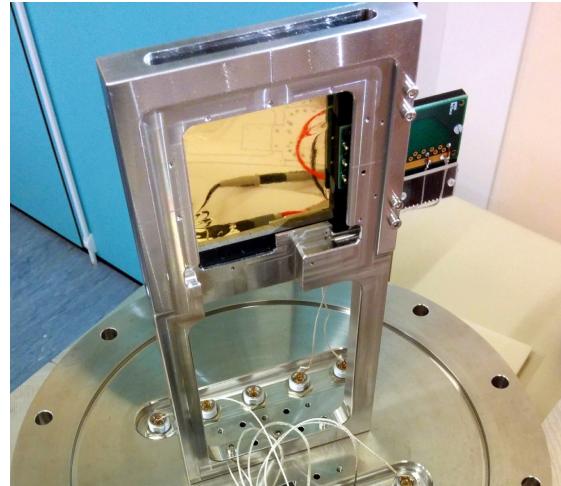


PEPITES

Quelques photos



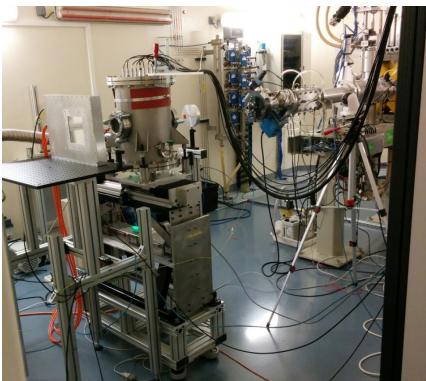
Strips, CP1™ 1,5 µm + Au 50 nm



Plan anode sur support

Test Beam

Validation (ARRONAX)



09/16

4 strips prototype,
profils de **170 fA à 10 nA** (proton beam)

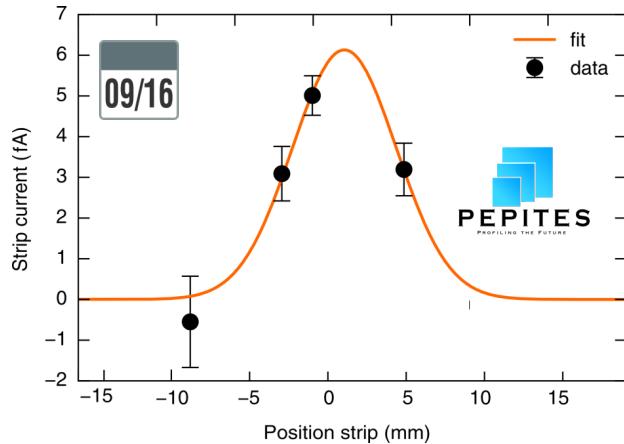
03/17

7 strips prototype,
profils jusqu'à **10 nA** (proton beam)

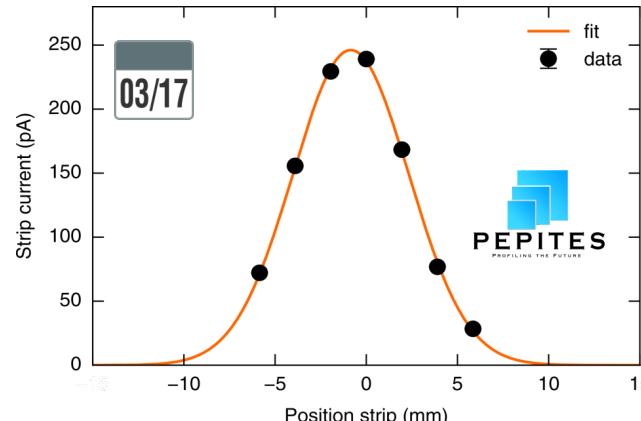
→ PEPITES validé sur une grande
gamme dynamique

2020/09/01

C. Thiebaux LLR CNRS-Ecole polytechnique



Protons 60 MeV, $I_{beam} = 170 \text{ fA}$



Protons 66 MeV, $I_{beam} = 10 \text{ nA}$

Test Beam

Études du signal (ARRONAX + CPO)

02/18

Taux SEE jusqu'à **100 nA**
protons 32, 40, 50 et 68 MeV

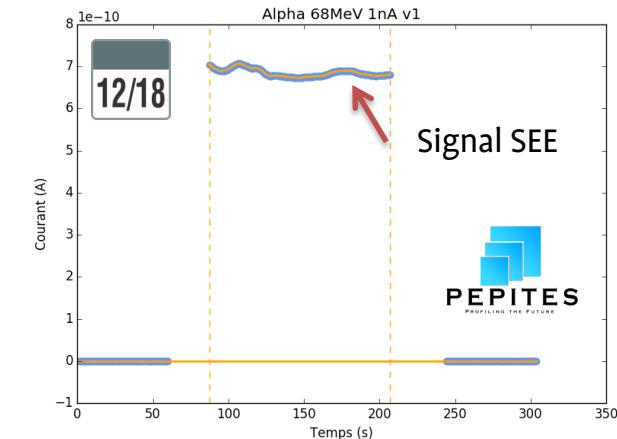
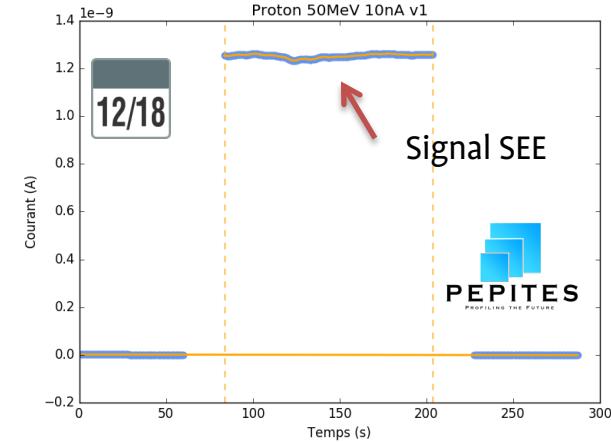
12/18

Taux SEE jusqu'à **100 nA**
protons 32, 40, 50 et 68 MeV
alpha 68 MeV (17 MeV/u) : **analyses en cours**

04/19

Centre de Protonthérapie d'Orsay (CPO),
protons 100 to 230 MeV, nA beam
(conditions thérapeutiques)

To be published



Test Beam

Études des radiations

Laboratoire des Solides Irradiés (LSI)

06/18

Electrons 2 MeV : 10^7 Gy

09/18

Electrons 2 MeV : 10^8 and 10^9 Gy

$25 \mu\text{A}$ for beam current

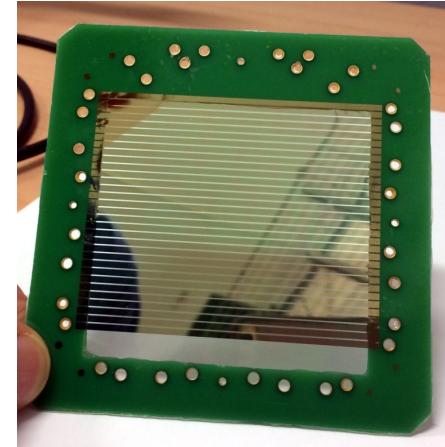
Particle	e- 2 MeV	P 200 keV	P 2 MeV	P 70 MeV	P 230 MeV
dE/dx CP1 (MeV cm ² /g)	1.6	0.7	140	8.7	3.7

Centre de Sciences Nucléaires et de Sciences de la Matière (CSNSM)

Protons 2 MeV et 200 keV (effets nucléaires importants, max interaction at CP1/Au interface) : 10^8 Gy

11/18

→ CP1™ validé



Irradiated CP1™ at LSI
before/after

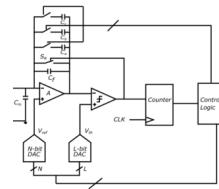
Electronic Readout

ASIC dédié

- Développement by CEA-DEDI (Saclay, France)
- Grande gamme dynamique(1 fA – 10 nA par voie)
- Techno XFAB 180 nm



Nous sommes ici



SPECS
01/19 - 02/19

DESIGN
03/19 - 06/19

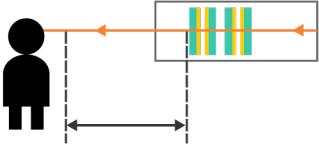
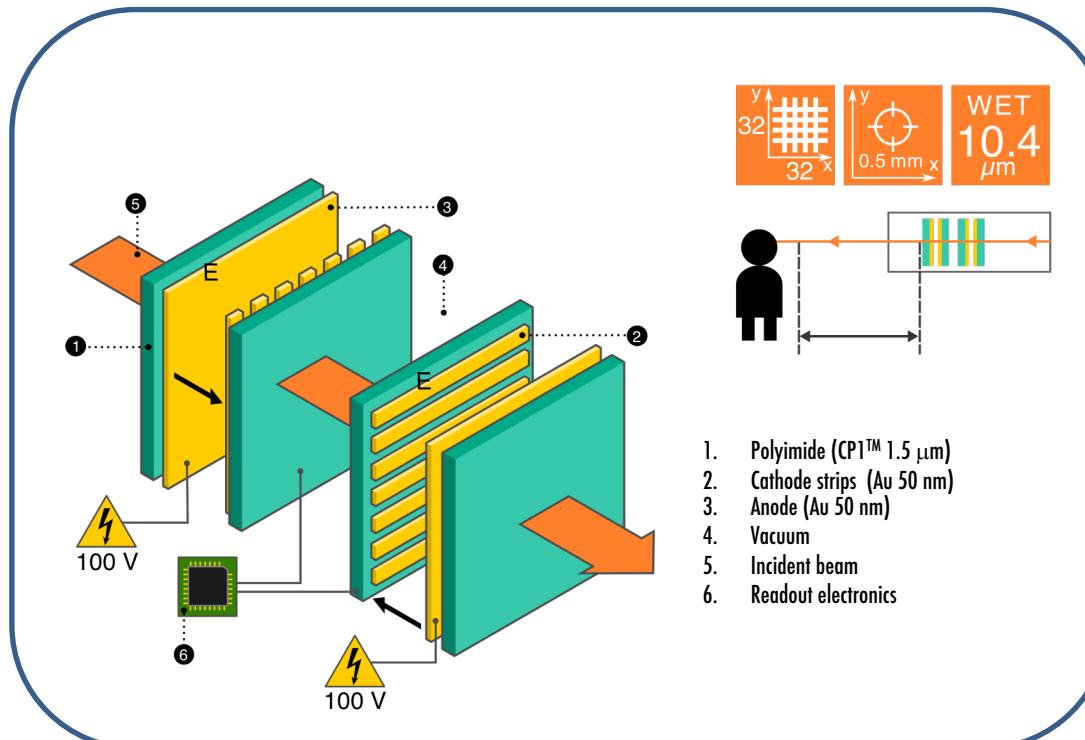
LAYOUT
07/19 - 02/20

TAPEOUT
03/20 - 10/20

PCB
07/20 - 10/20
TEST
11/20 - 02/21

PEPITES à ARRONAX

Schematic layout



Insertion (in-off beam)



PEPITES

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



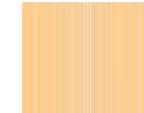
Linéarité SEE
→ Large gamme dynamique



Techniques de couches minces

- Méthodes flexibles

→ Adaptation aux spécifications faisceaux



PEPITES

Conclusions

- PEPITES: un prototype fonctionnel de moniteur de faisceau ultra-mince
 - 10 µm WET
 - Capable de mesurer en continu les paramètres du faisceau
- Installation au cyclotron ARRONAX (2021)
 - Opérations en routines
 - Fin ANR (report + COVID : 06-2022)
- Futur
 - Installation sur d'autres machines
 - Flash 

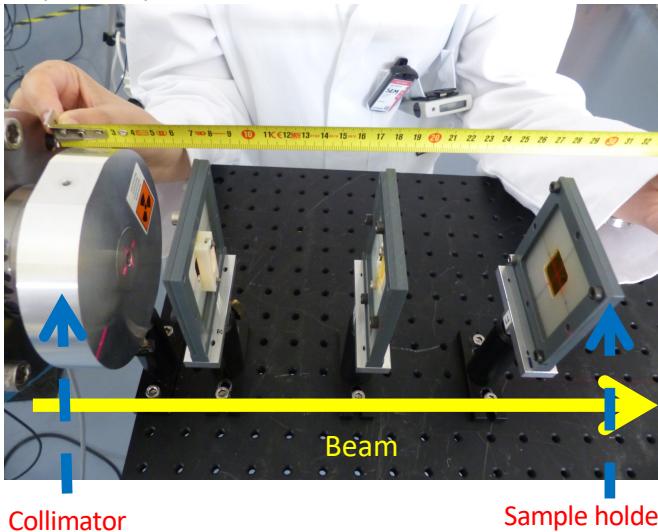


Additional content

Test Beam

Radiations studies

Kapton 8 μ m irradiation with H+ beam 68 MeV @ ARRONAX



- Preliminary results show slight change in optical properties for the 10 MGy sample.
- The study will continue with new irradiations of Kapton and CP1

Characteristics of irradiation:

- I beam: 150 -200 nA
- Dose: 0,5, 1 et 10 MGy

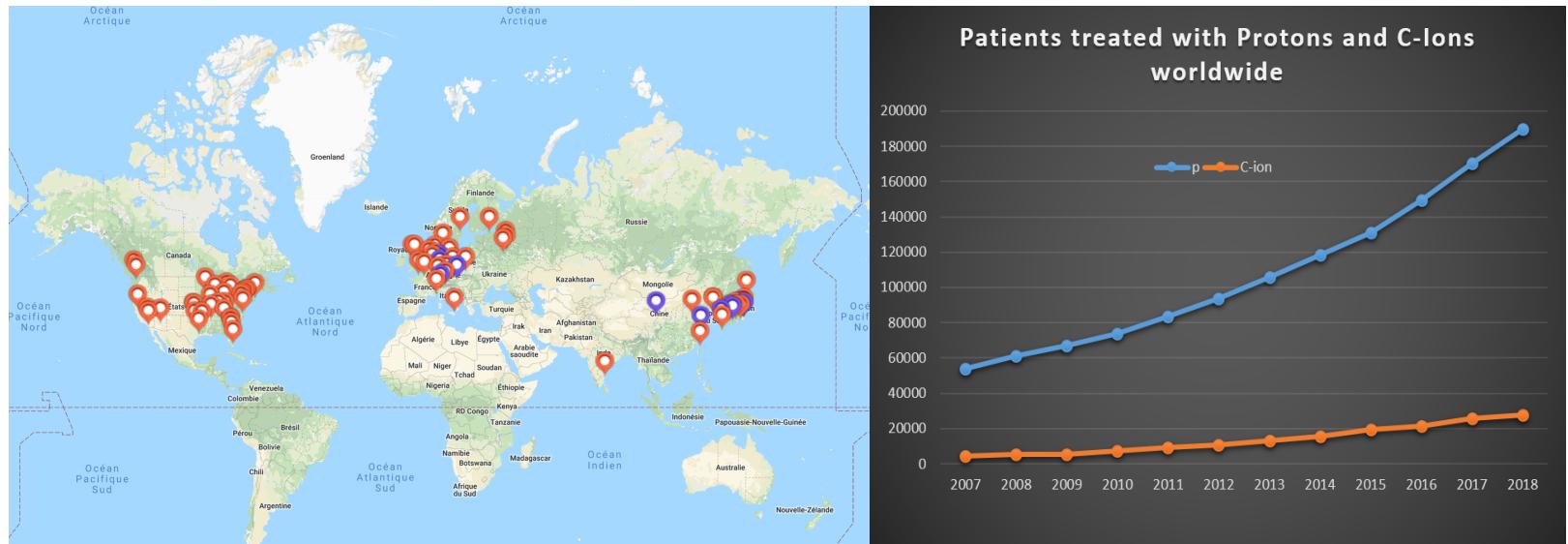
Samples analysis:

- Spectroscopy UV-Visible (structural defects)
- Scanning electron microscopy (surface condition analysis)

Perspectives

To Medical applications

Routine operation → Precise knowledge of the detector → through particle therapy



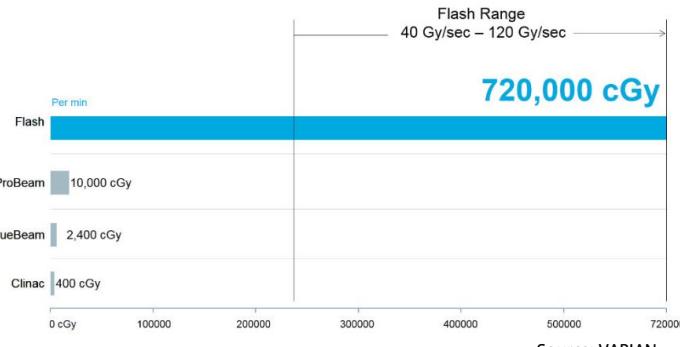
90 particle RT centers worldwide (+ 45 in construction and 25 in project)

Prospective

Future medical applications

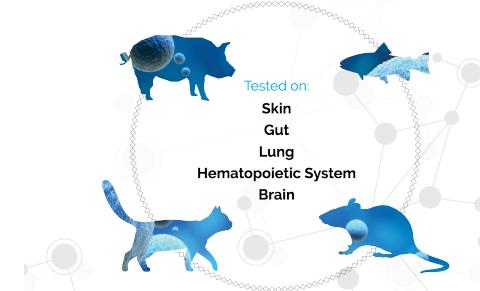


Ultra high dose rates



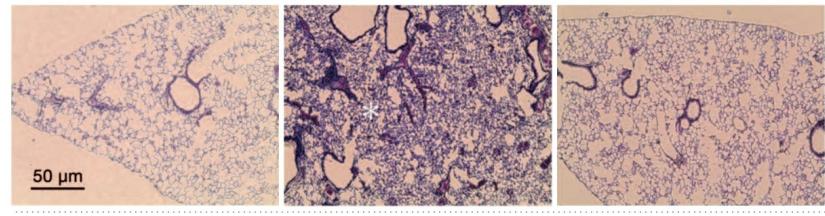
THE FLASH EFFECT

FLASH-RT does not induce damages at the normal tissue level



FLASH THERAPY

Flash spares normal tissue



Control
0 Gy/s

Standard RT 17 Gy
0.03 Gy/s

FLASH 17 Gy
60 Gy/s

varian

53 FOR INVESTOR USE ONLY
From Favaudon et al., Sci. Transl. Med., 16 Jul 2014; Vol. 6, Issue 245, 245ra93 (DOI: 10.1126/scitranslmed.3008973). Reprinted with permission from AAAS.