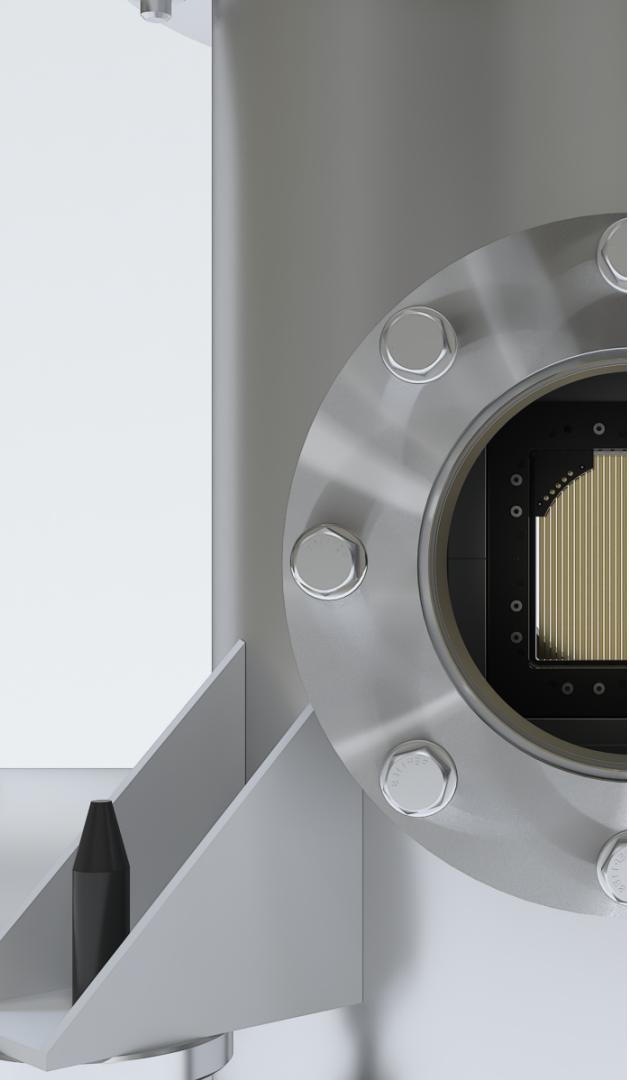


DÉVELOPPEMENT D'UN PROFILEUR TRANSPARENT BASÉ SUR L'ÉMISSION D'ÉLECTRONS SECONDAIRES POUR LES FAISCEAUX DE PARTICULES CHARGÉES

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

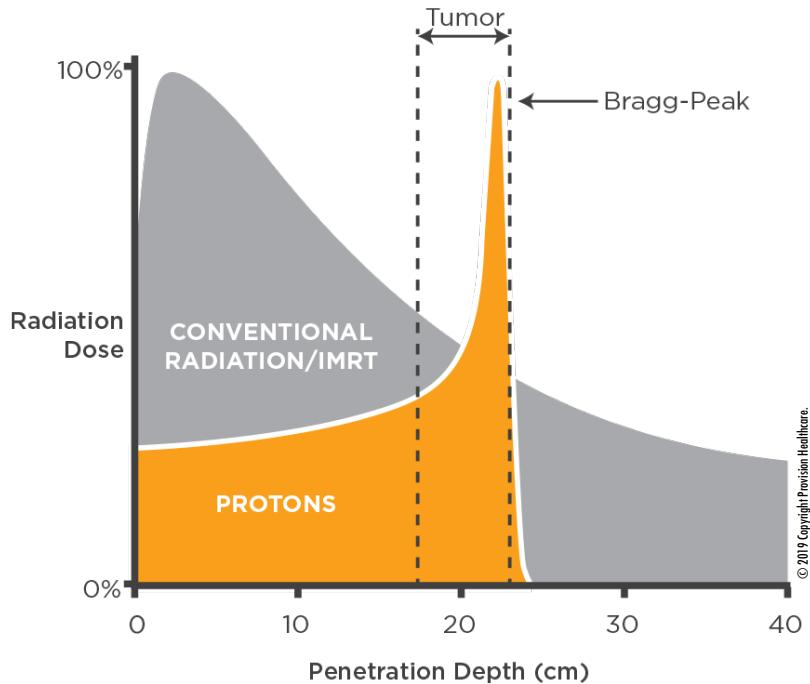


- Y. Geerebaert, R. Guillaumat, F. Magniette, P. Manigot, C. Thiebaux, M. Verderi
Laboratoire Leprince-Ringuet CNRS-Ecole polytechnique-
Institut Polytechnique de Paris, Palaiseau, France
- F. Haddad, C. Koumeir, F. Poirier,
Cyclotron ARRONAX, Saint-Herblain, France 
- E. Delagnes, F.T. Gebreyohannes, 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](#)).

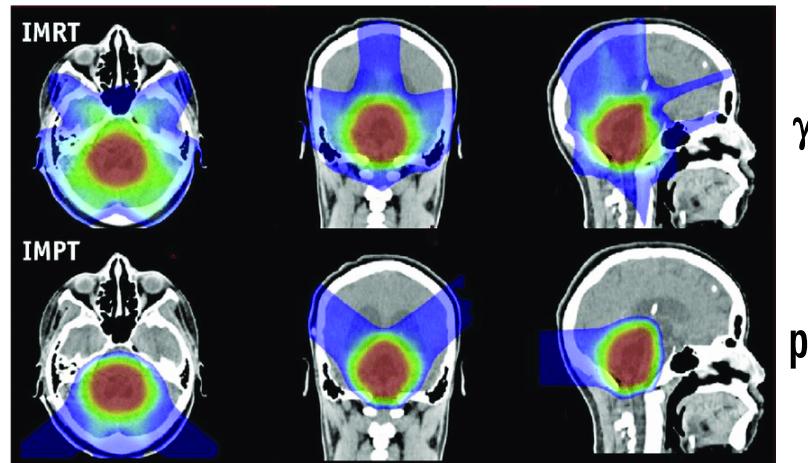
Introduction

La protonthérapie



Indications:

- Tumeurs résistantes
- Non opérables
- Pédiatrie

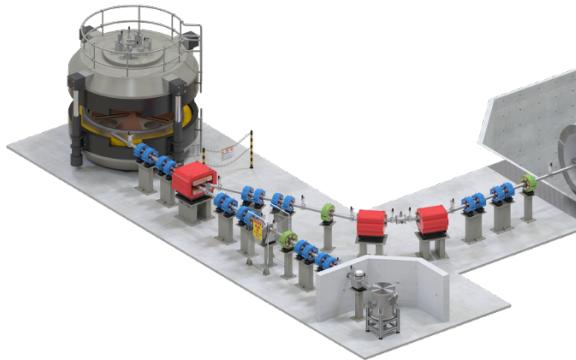


D.J. Indelicato et al. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2016.06.2446

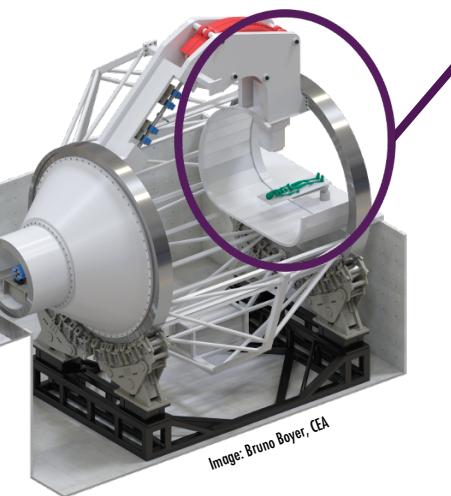
Introduction

La protonthérapie

Cyclotron



Gantry



Treatment room



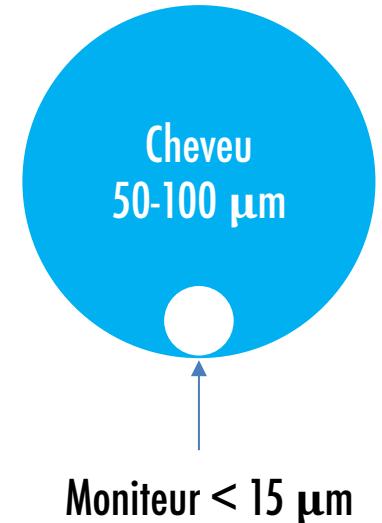
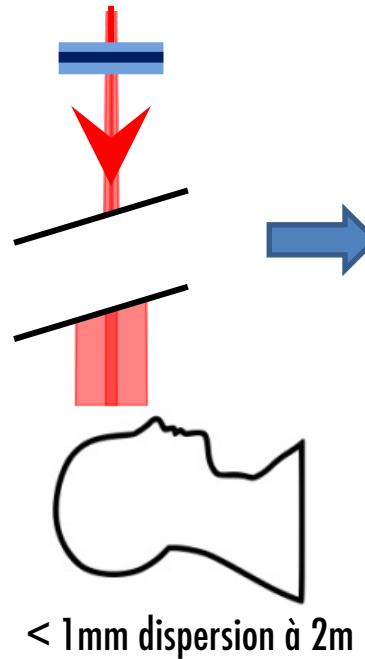
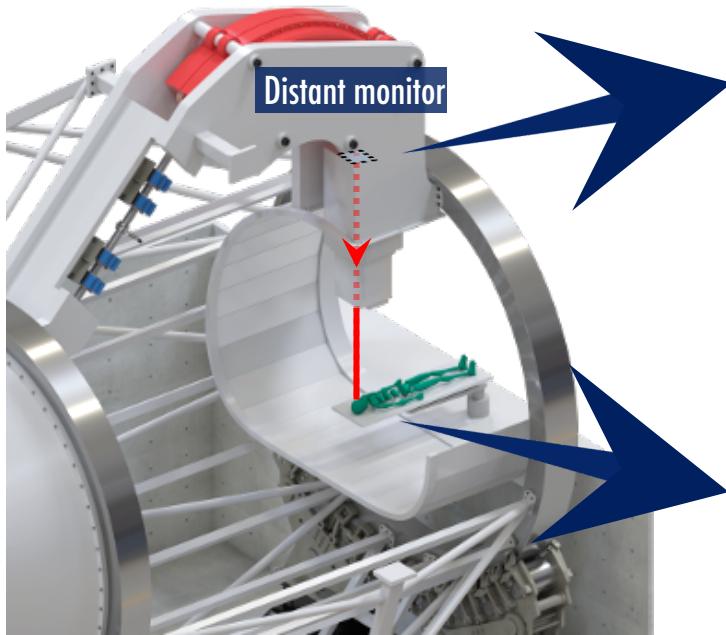
Image IBA

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

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

Introduction

Mesurer sans perturber



Introduction

Specifications

Buts



Perturbation faisceau minimale
→ Budget matière: 10 µm WET

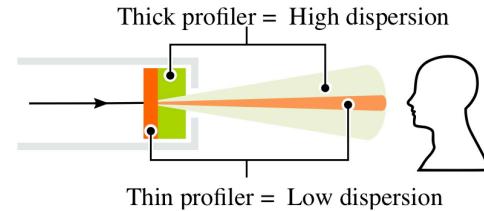


Dose déposée minimale 10^8 Gy
→ Radiorésistance

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 ($0.1\ \mu\text{m}\ \text{Au} \simeq 1\ \mu\text{m}\ \text{water}$ $1\ \mu\text{m}\ \text{Kapton} \simeq 1.4\ \mu\text{m}\ \text{water}$)

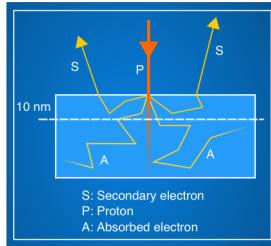


Profileur à Electrons Pour Ions ThérapeutiquES

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



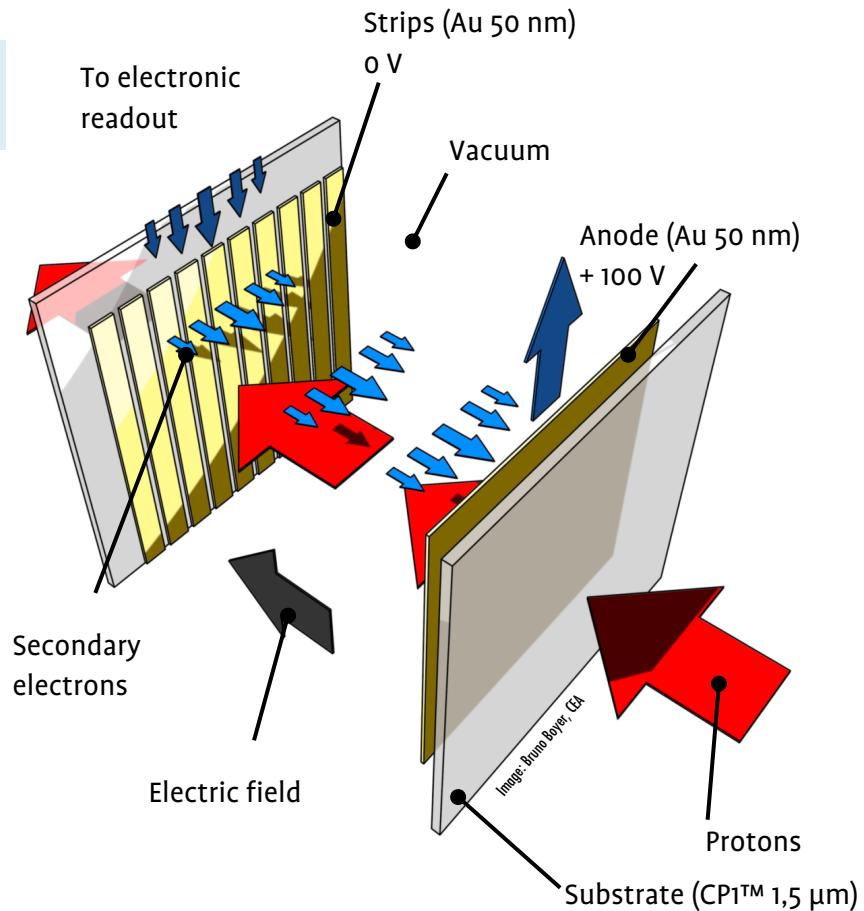
Substrat

CP1™ (Colorless Polyimide) :

- Thermostable
- Radiorésistant
- Pour les voiles solaires !

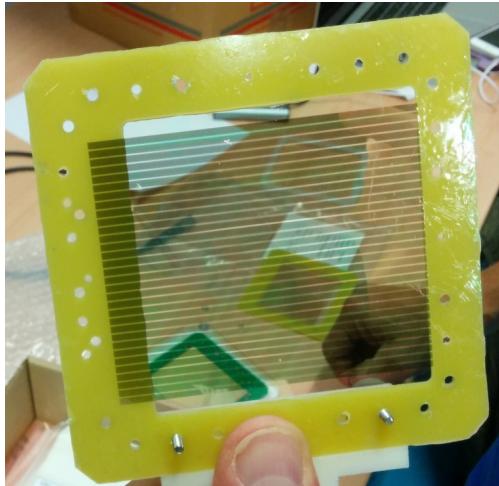
Fabrication

Thin film methods: Chemical Vapor Deposition (CVD)

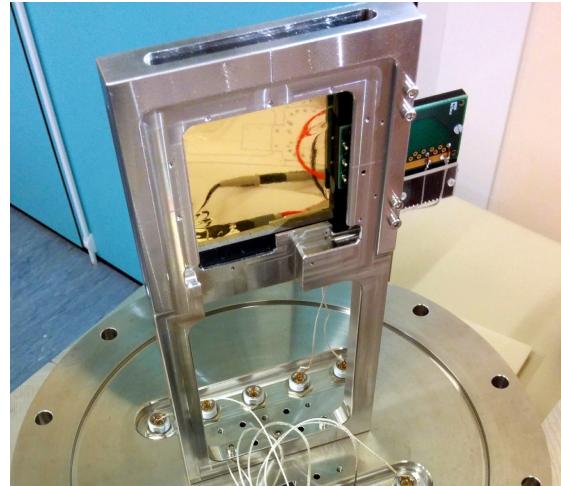


PEPITES

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)

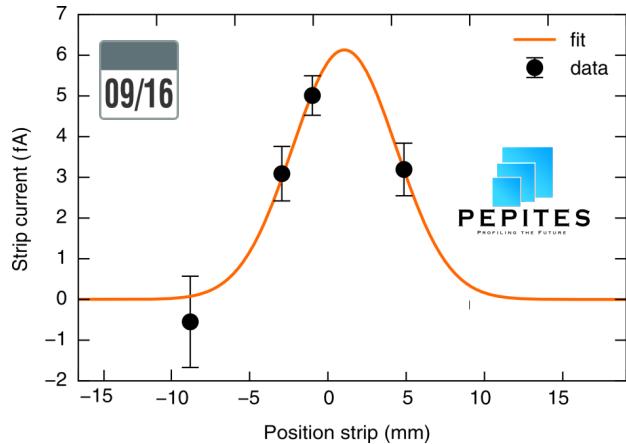
03/17

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

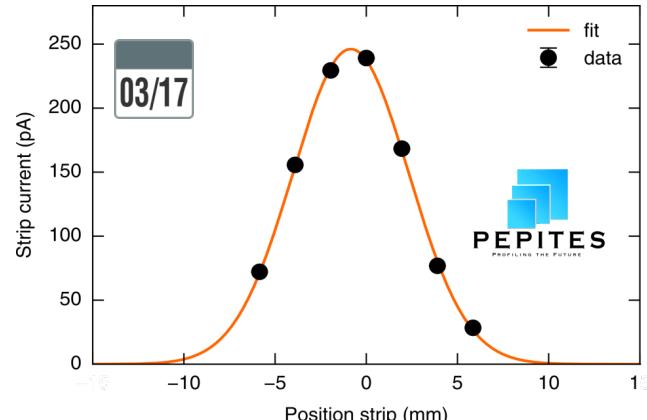
→ PEPITES validé sur une grande
gamme dynamique

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

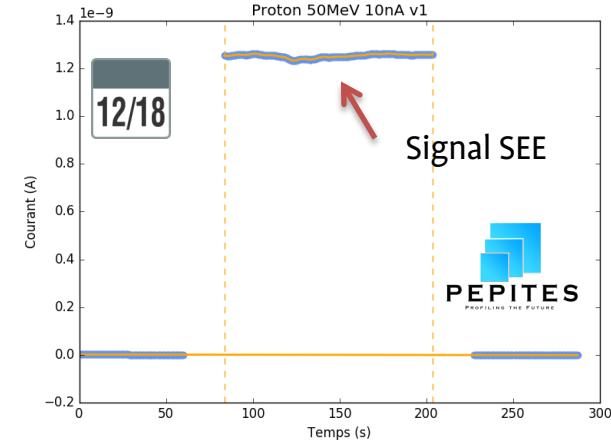
12/18

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

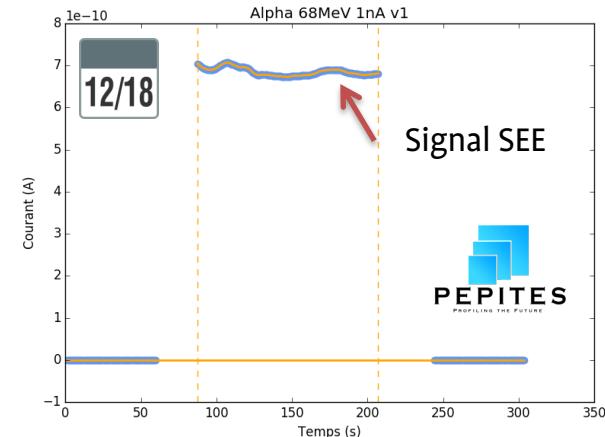
04/19

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

To be published



SEE, protons 50 MeV



SEE, Alpha 68 MeV

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

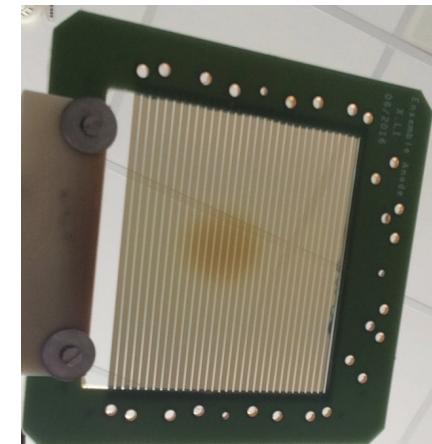
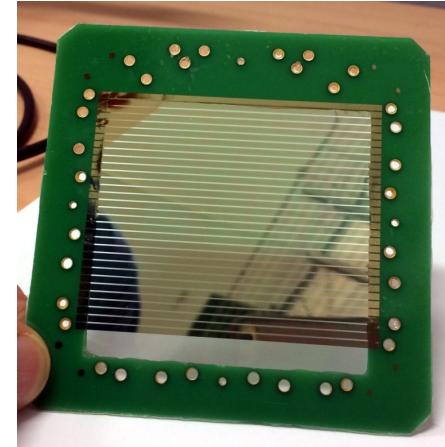
Particle	e- 2 MeV	P 200 keV	P 2 MeV	P 70 MeV	P 230 MeV
dE/dx CP1 (MeV cm ² /g)	1.6	0.7	140	8.7	3.7

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

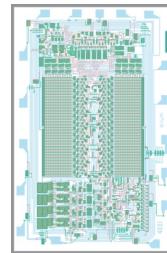
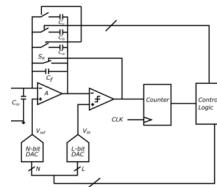
Electronic Readout

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

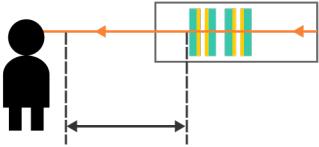
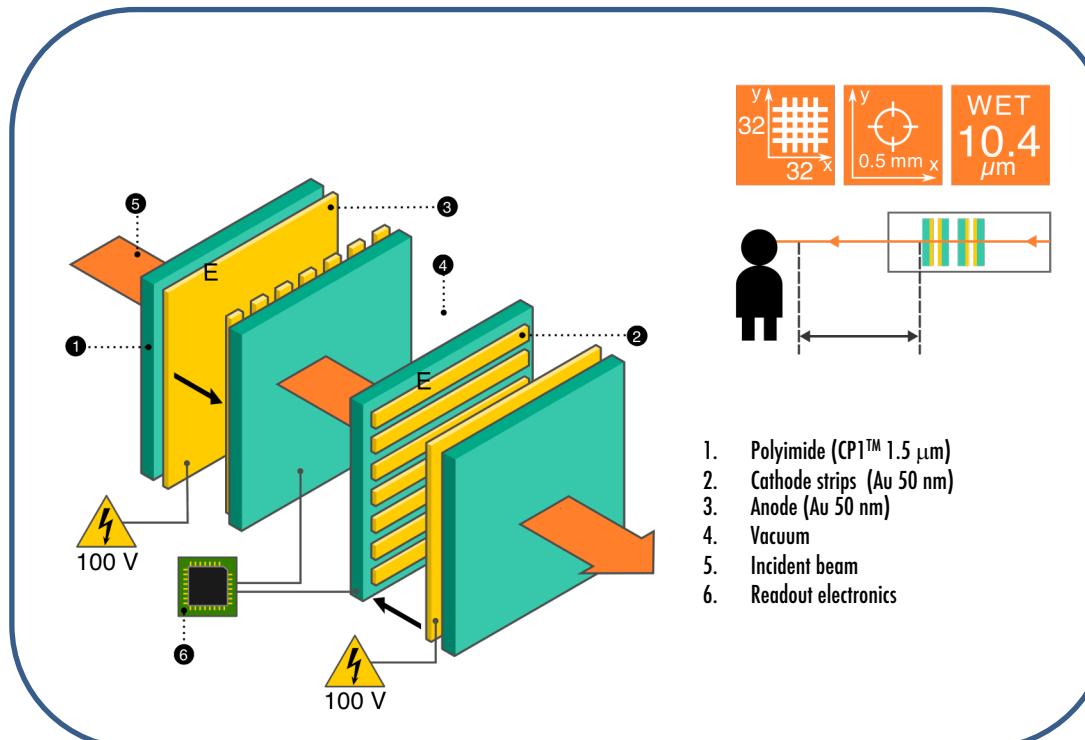
LAYOUT
07/19 - 02/20

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 

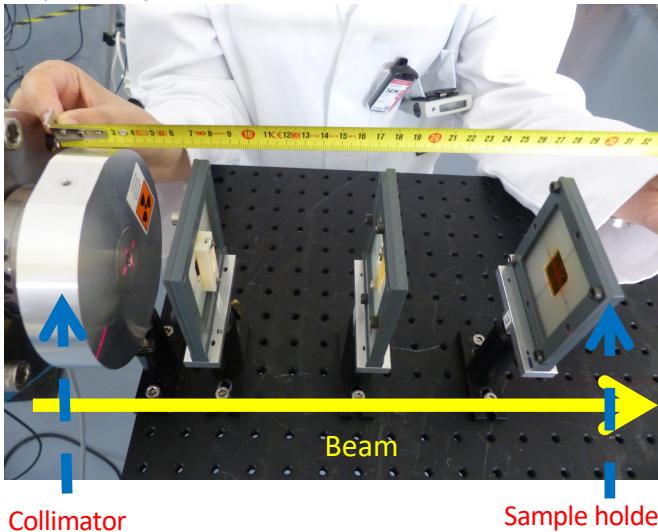


Additional content

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

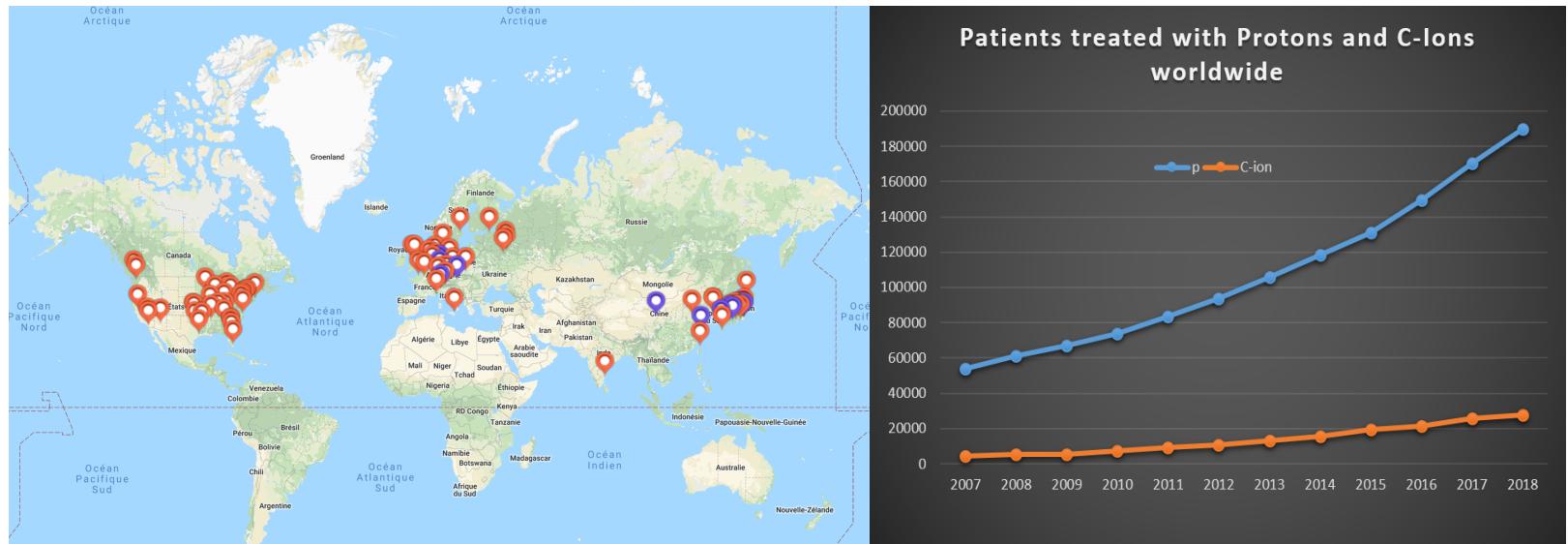
Samples analysis:

- 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



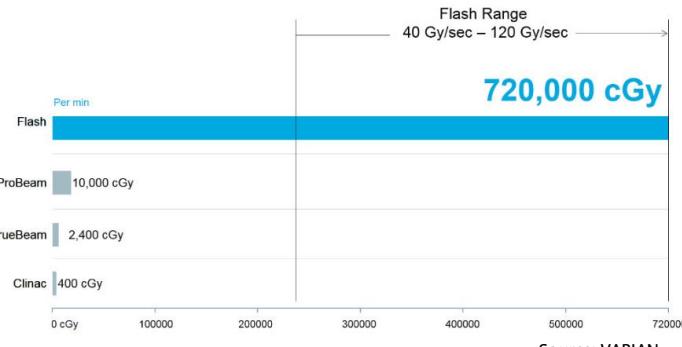
90 particle RT centers worldwide (+ 45 in construction and 25 in project)

Prospective

Future medical applications

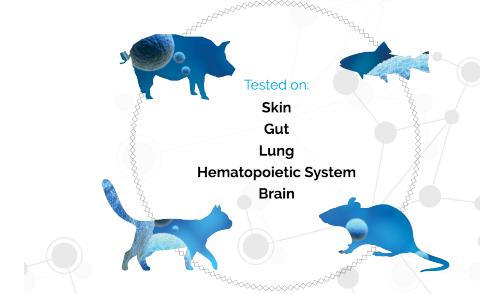


Ultra high dose rates



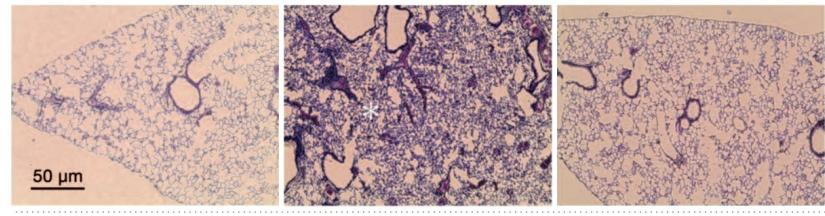
THE FLASH EFFECT

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

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.