



ResPlaNDIR

Réseau des plateformes nationales pour la dosimétrie, l'instrumentation et la radiobiologie
&
Perspectives pour le développement d'une salle de recherche à Caen

- ❑ Réseau informel créé dans le cadre du GDR MI2B en 2013
- ❑ Regroupe un ensemble de plateformes/équipements pour l'irradiation par RX et particules chargées précliniques et cliniques
 - Physiciens, radiobiologistes, physiciens médicaux
 - Laboratoires académiques et centres hospitaliers
 - ✓ CNRS, CEA, ASNR, Universités, CLCC,..
- ❑ But:
 - Permettre des rencontres entre utilisateurs et développeurs
 - ✓ Définition des besoins pour le développement des plateformes hadroniques (Biologistes => Physiciens)
 - ✓ Aide à la dosimétrie et aux bonnes pratiques des irradiateurs X commerciaux (Physiciens => Biologistes)
 - ✓ Recenser les équipements et les besoins
 - Eventuellement développer/utiliser des instruments et des protocoles communs
 - Réaliser des Inter-comparaisons dosimétriques (physique et biologique)
- ❑ Copil:
 - E. Bayart (Radiotransnet), F. Chevalier (GANIL/CEA), M. Dos Santos (ASNR), C. Koumeir (Arronax), A. Leite (CNRS), A. Patriarca (CPO Curie), M. Rousseau (UniCaen), M. Vidal (IMPT Nice)

□ Organisation de réunions et ateliers :

- Comparaison dosimétrique des générateurs de rayons X, Orsay, 2013
- Plateformes d'irradiation à haute TEL (TEL), Orsay, 2013
- WS ResPlaNDIR => Début du projet PRECy, Strasbourg, novembre 2014
- Journées de radiobiologie, Lyon, octobre 2017
- Plateformes à rayons X, Dijon, 2018
- Journées ResPlaNDIR, Dijon, mars 2019
- Journées ResPlaNDIR, Strasbourg, mars 2023
- Session ResPlaNDIR au Congrès de la SFBR, Porquerolles, Novembre 2024

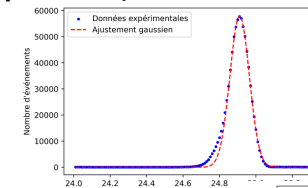
□ Travaux en cours:

- Recensement des plateformes en vue de la création d'un site dédié:
 - ✓ <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScKi1ovY3KYXVRhIVR0DMt2x546MTWpulgPoTdUe4FmKXc5zg/viewform?usp=preview>
 - Caractéristiques des accélérateurs ?
 - Equipements monitoring faisceau ?
 - Equipements pour la dosimétrie ?
 - Setup expérimental ?
 - Irradiations In vivo, in vitro et de matières inertes?
 - Présence d'un laboratoire de biologie et d'une animalerie ?
 - Simulation Monte Carlo ?
- Intercomparaison

Problématique préclinique (particules chargées)

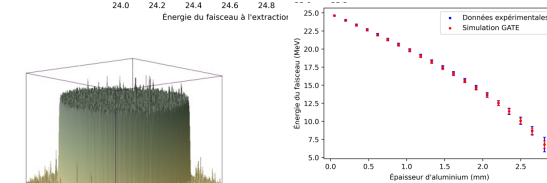
- Besoin de métrologie/dosimétrie (dépôt et mesure de la dose à quelques %)

$$D = \frac{dE}{dm} = \phi * \frac{TEL_t}{\rho} = \frac{I_{beam} \times t_{irr}}{Ze \times S_{irr}} \times \frac{TEL_t}{\rho}$$



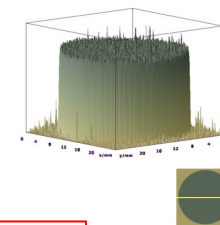
- Connaissance du TEL_t

- transfert d'énergie linéique pondéré par le spectre en énergie du faisceau
- Nécessité de connaître le **spectre en énergie** des faisceaux

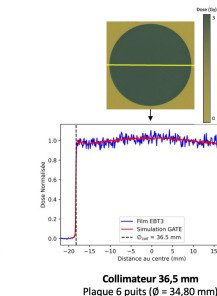
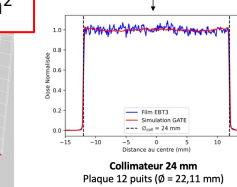
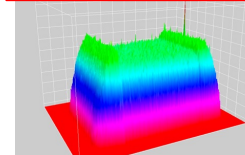


- Avoir une **fluence uniforme** sur tout le **champ d'irradiation**

- Faisceaux balayés (GANIL: 5*5 cm²)
- Faisceaux diffusés (Arronax $\Phi=20$ mm, CYRCé $\Phi=36$ mm)



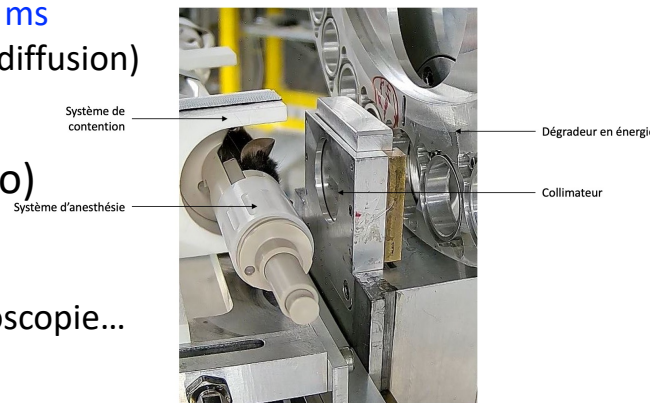
Surfaces < 12 * 8 cm²



- Maîtrise du **débit de dose** et du **temps d'irradiation**

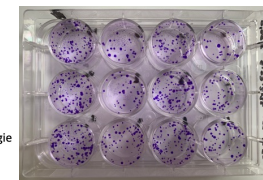
- I_{beam} doit être le plus constant possible
- Temps d'irradiation de quelques **minutes** à quelques **ms**
- Des **intensités** pouvant être **élevées** (> 200 nA avant diffusion)
 - Problématique RP, activation,...

- Maîtrise du dépôt de dose en profondeur (in vivo)



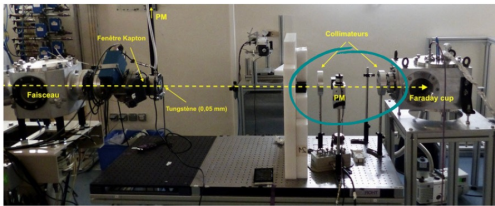
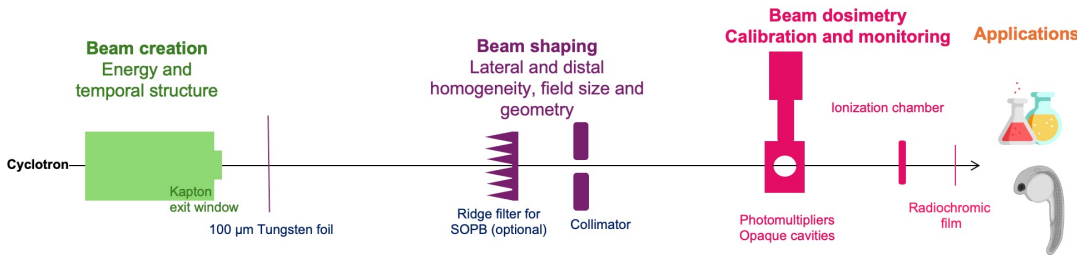
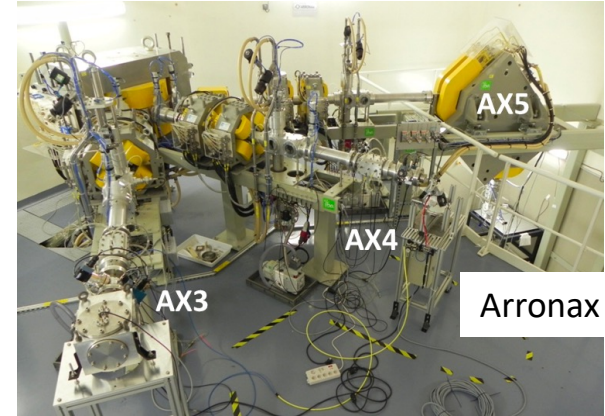
- Sans compter les problématiques biologiques

- Contention, anesthésie, hypoxie, température, microscopie...

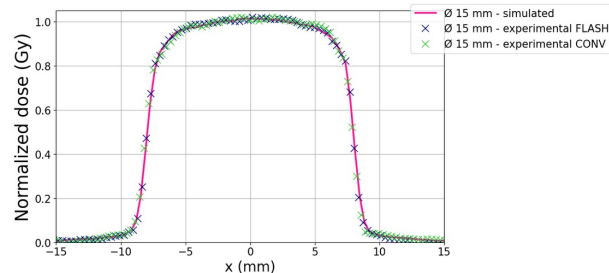
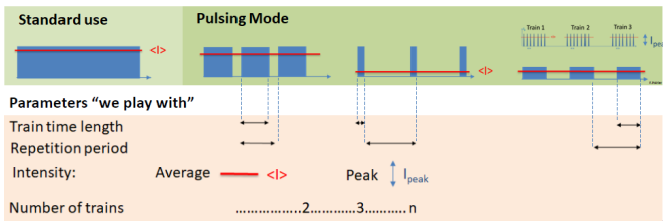
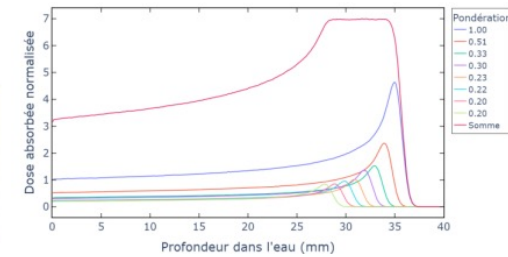
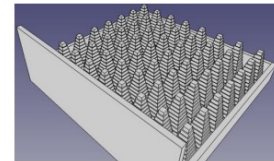


Arronax (Nantes)

- Proton et alpha à 70 MeV
- In vivo et in vitro, Flash

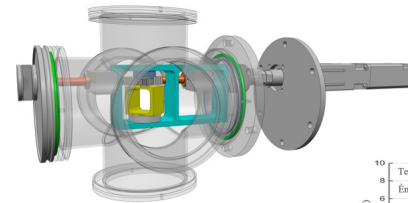
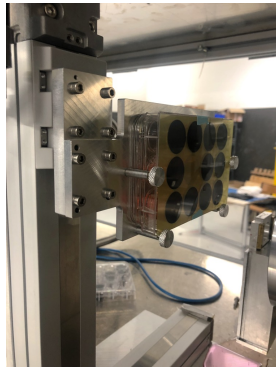
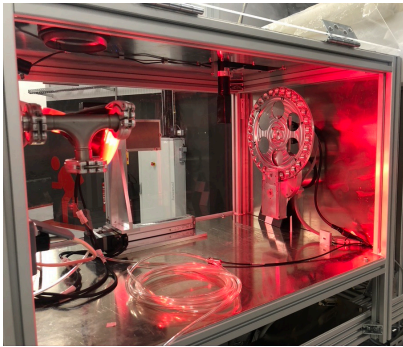
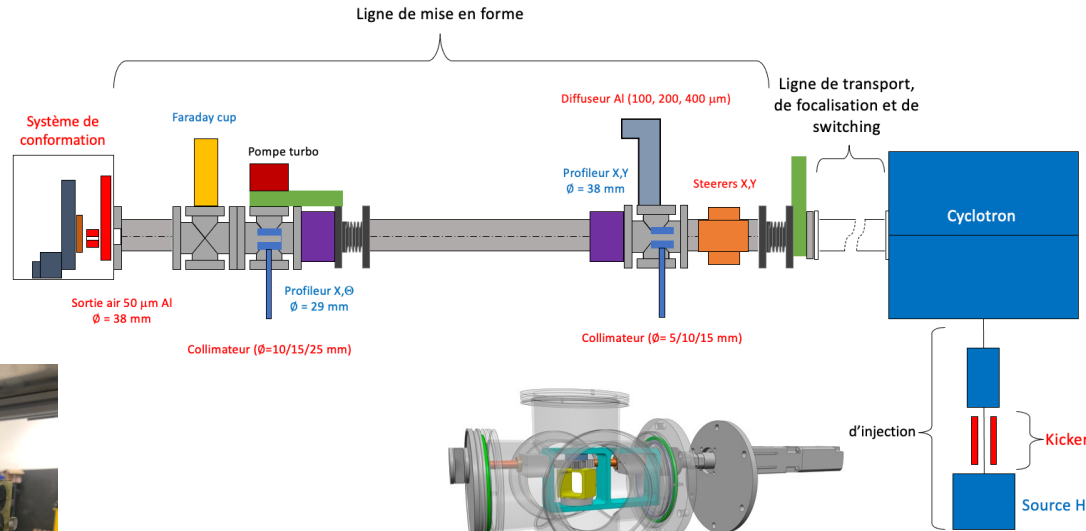


GATE *In vivo dosimetry*
Innovative dosimetry through radiation emitted by the irradiated medium

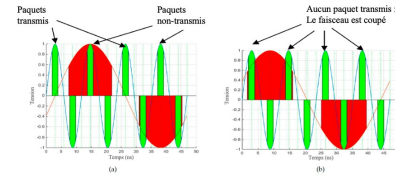
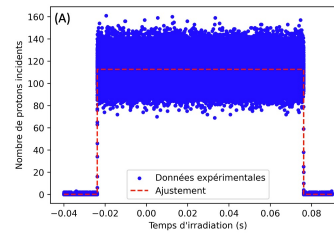
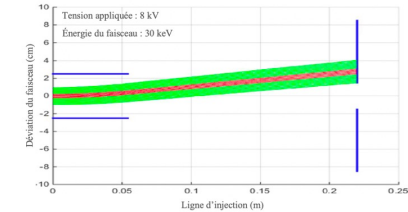


PRECy (Strasbourg)

- Proton à 25 MeV
- In vivo et in vitro, Flash

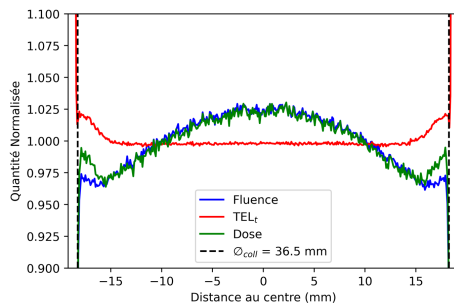
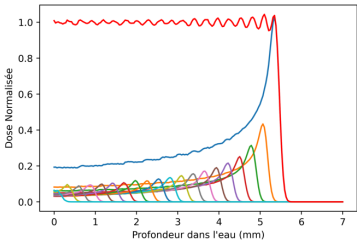


$t_m < 3 \text{ ms}$



Changement de fréquence 85 à 42,5 MHz

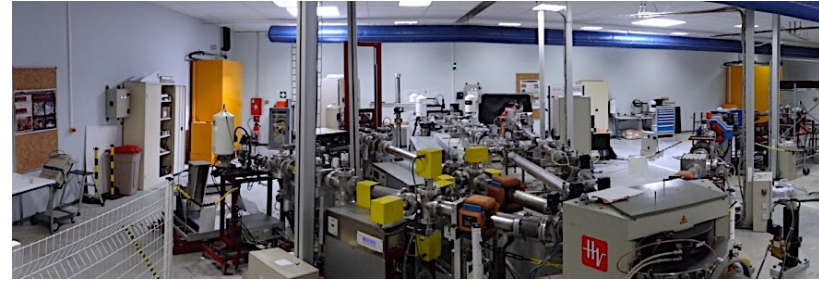
$t_m < 10 \mu\text{s}$



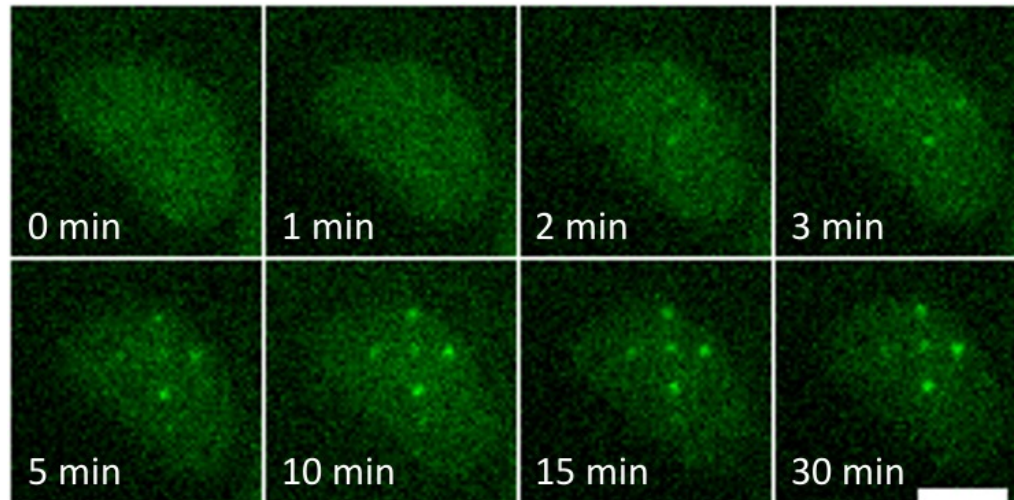
Simulations GATE

□ AIFIRA (Bordeaux)

- Proton et alpha < 3 MeV
- Microfaisceaux (1,5 μm)



- Vidéo-microscopie de fluorescence en ligne



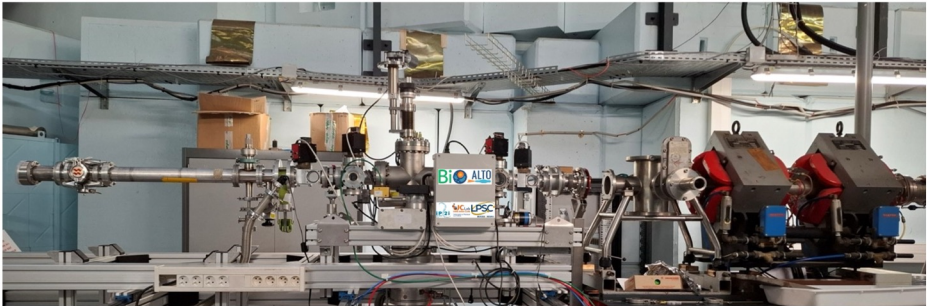
Vidéo-microscopie de fluorescence de la protéine RNF8-GFP (cassures double brin de l'ADN). Échelle : 10 μm

En cours de développement: BioAlto (Orsay)



experimental platform for pre-clinical hadrontherapy research

Belongs to the National Irradiation Platform Network **ResPlaNDIR**



Particles	Energies available [MeV] (MeV/u)	Cellular irradiation depth [μm WET] (at 5 cm air)
Proton ^1H	4 – 25 (4 – 25)	160 – 6190
Alpha ^4He	15 – 43 (3.75 – 10.75)	130 – 1290
Carbon ^{12}C	87.5 (7.29)	170
Oxygen ^{16}O	128 (8)	140

14.8 MV Tandem « Van de Graaf » accelerator

Teams:

Partners:

Laboratoire de Physique des 2 Infinis

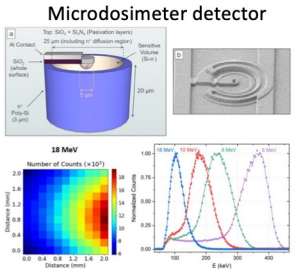
Applications
In vitro Radiobiology / Detector characterization

- Temperature-controlled enclosure for samples
- XY motorized sample holder
- Automated sample changing
- Homogeneous fields of 2 cm diameter
- Dose rates of 2 Gy/min

Access to a cell culture lab (L2).

Available dosimetry

➤ **Microdosimeter** based on Si microdetectors with dynamic range adapted to heavy ions: beam intensity and LET maps



- Radiochromic films
- Si detectors

Access: yearly proposal to Program Advisory Committee (PAC)
Contact: Amélia Maia Leite, Quentin Mouchard bioalto@ijclab.in2p3.fr

Les autres plateformes hadroniques

□ GANIL

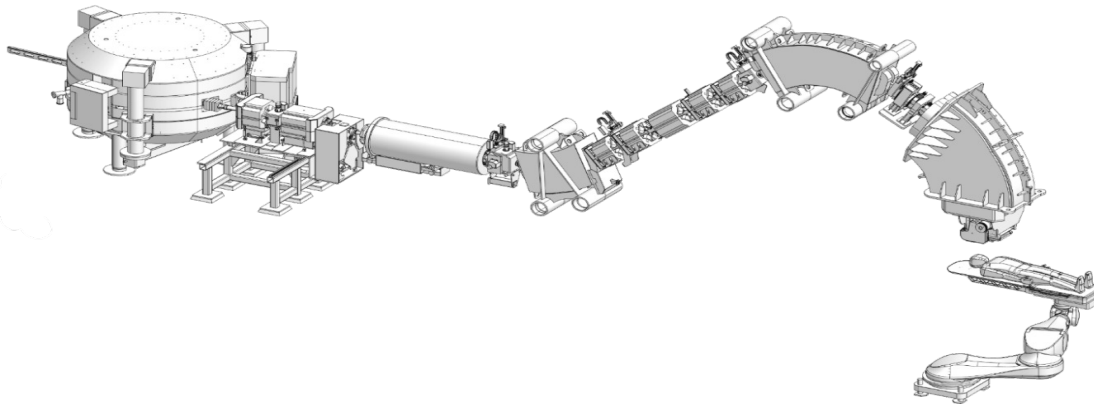
- Irradiations **Flash** à 95 MeV/n (^{12}C et ^{16}O)

□ Orsay, Nice

- Protons cliniques
- MediCyc (65 MeV)

□ Cyclhad (Caen)

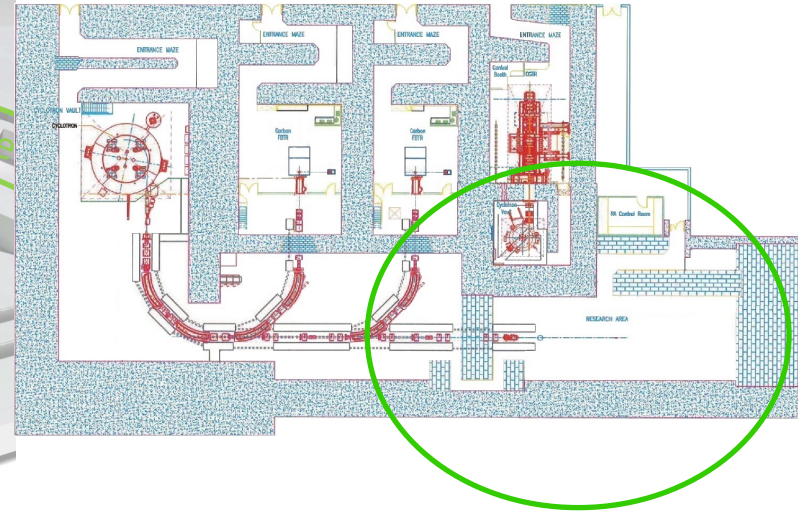
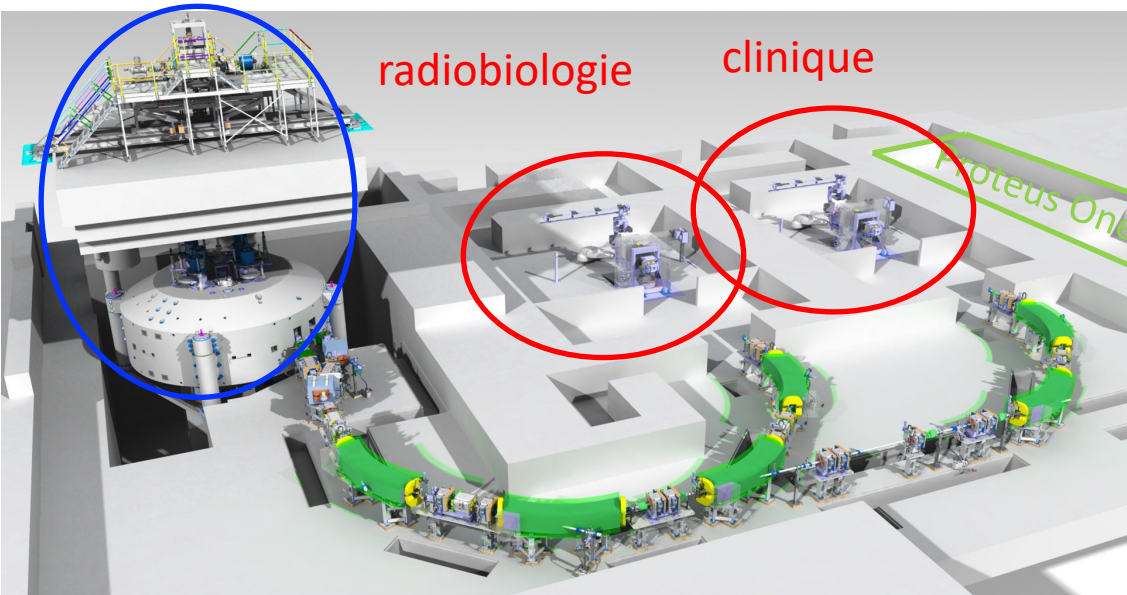
- Protons cliniques



□ Proton @ 265 MeV et noyaux avec des rapports $Z/A=1/2$ à 400 MeV/n (He,C,..)

- 2 salles à faisceau fixe dans des conditions cliniques
- Une salle expérimentale de 300 m² à équiper

C400



□ Pourquoi?

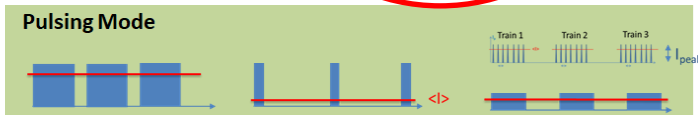
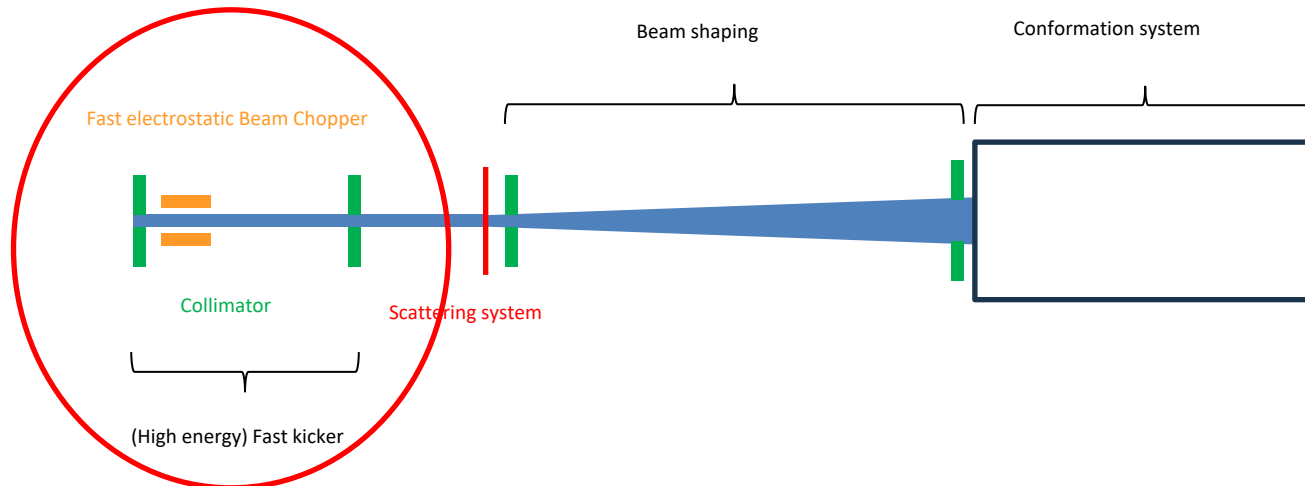
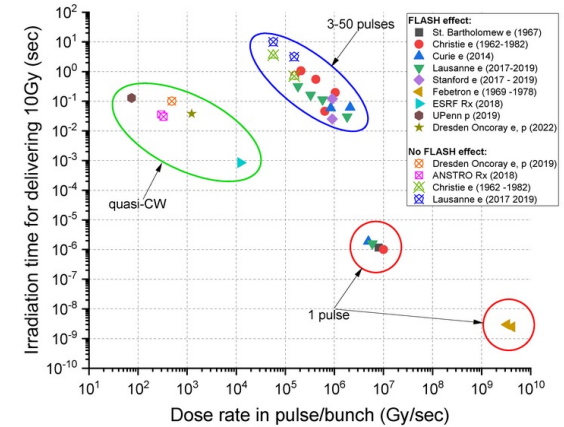
- Indépendance vis-à-vis des conditions cliniques
 - ✓ Energie, intensité, taille de champ, accessibilité,...

□ Pour qui ?

- Radiobiologistes

□ Comment ?

- Irradiations Passives
 - ✓ Débit de dose constant sur la cible (cellule, tumoroides, petit animal)



Modulation temporelle pour les études sur les mécanismes Flash

Développement d'une salle de recherche modulaire



❑ Pourquoi?

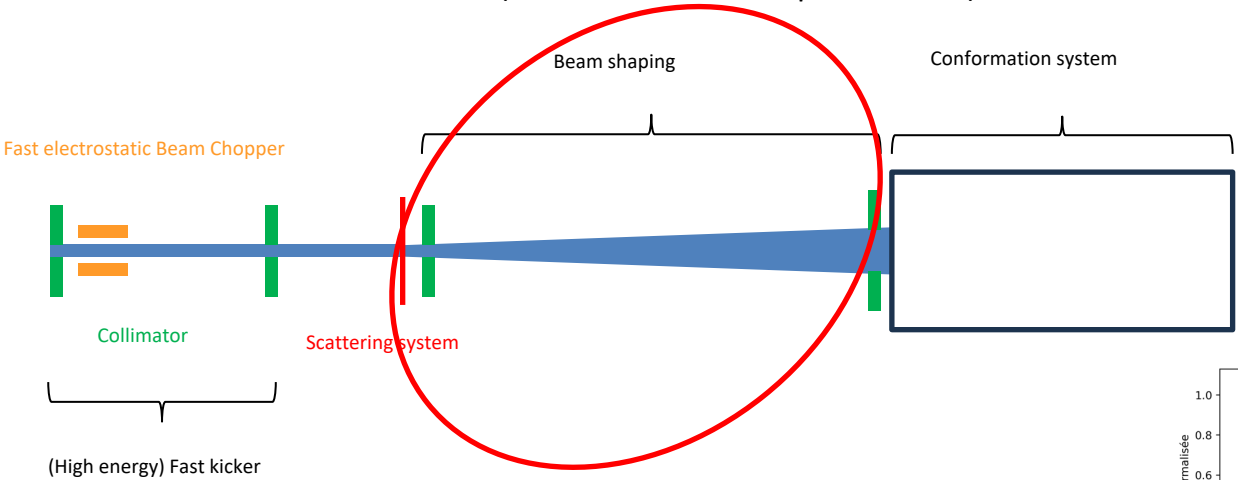
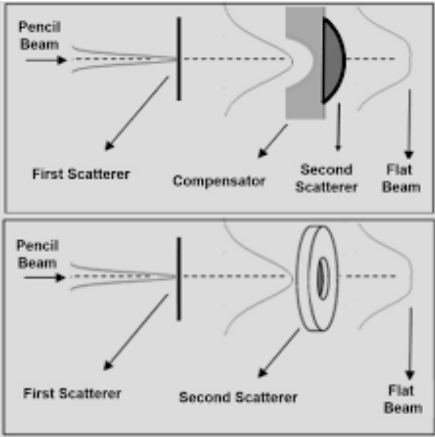
- Indépendance vis-à-vis des conditions cliniques
 - ✓ Energie, intensité, taille de champ, accessibilité,...

❑ Pour qui ?

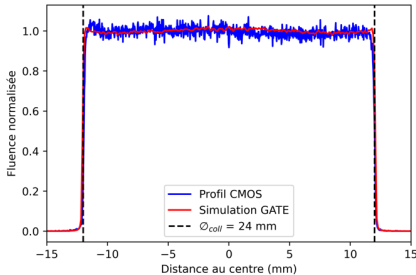
- Radiobiologistes

❑ Comment ?

- Irradiations Passives
 - ✓ Débit de dose constant sur la cible (cellule, tumeurs, petit animal)



Système de diffusion pour les champs larges



Développement d'une salle de recherche modulaire

□ Pourquoi?

- Indépendance vis-à-vis des conditions cliniques
 - ✓ Energie, intensité, taille de champ, accessibilité,...

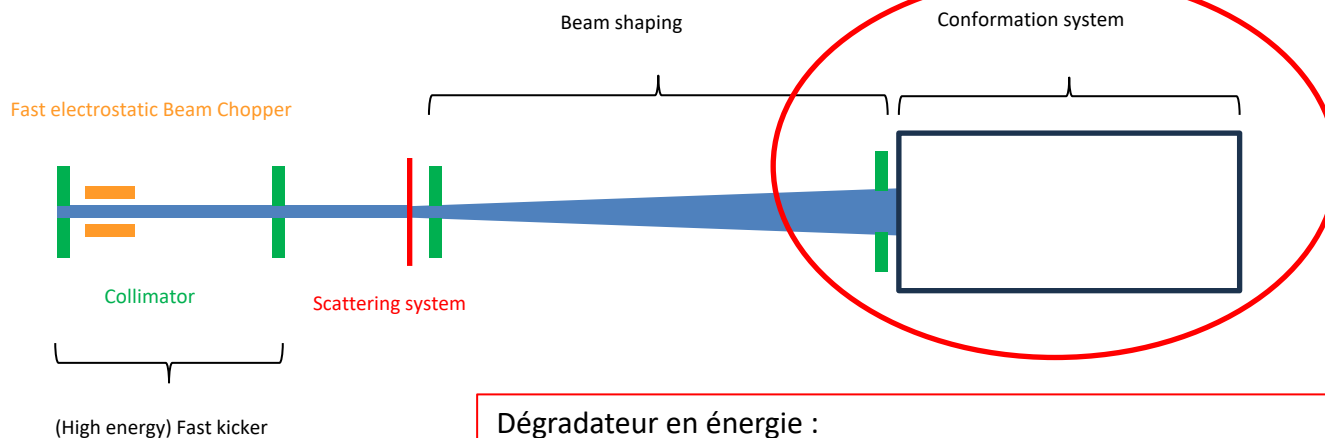
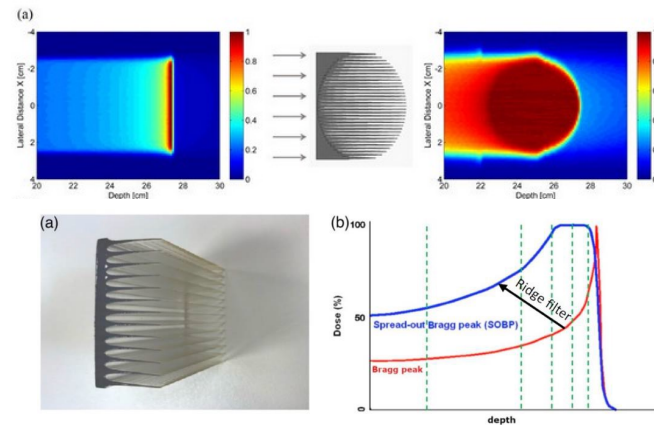
□ Pour qui ?

- Radiobiologistes

□ Comment ?

- Irradiations Passives

- ✓ Débit de dose constant sur la cible (cellule, tumoroides, petit animal)



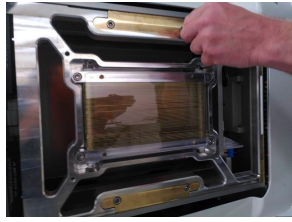
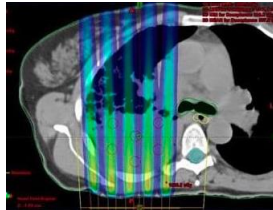
Dégradateur en énergie :

- Roue pour les études in vitro en fonction du LET et formation SOBP
- Ridge filter pour les études in vivo FLASH

Développement d'une salle de recherche modulaire

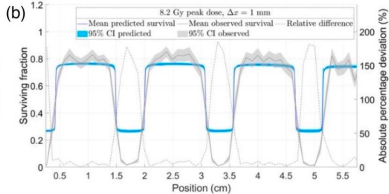
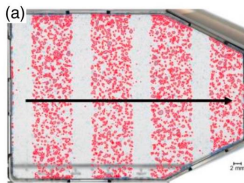


- Pourquoi?
 - Indépendance vis-à-vis des conditions cliniques
 - ✓ Energie, intensité, taille de champ, accessibilité,...

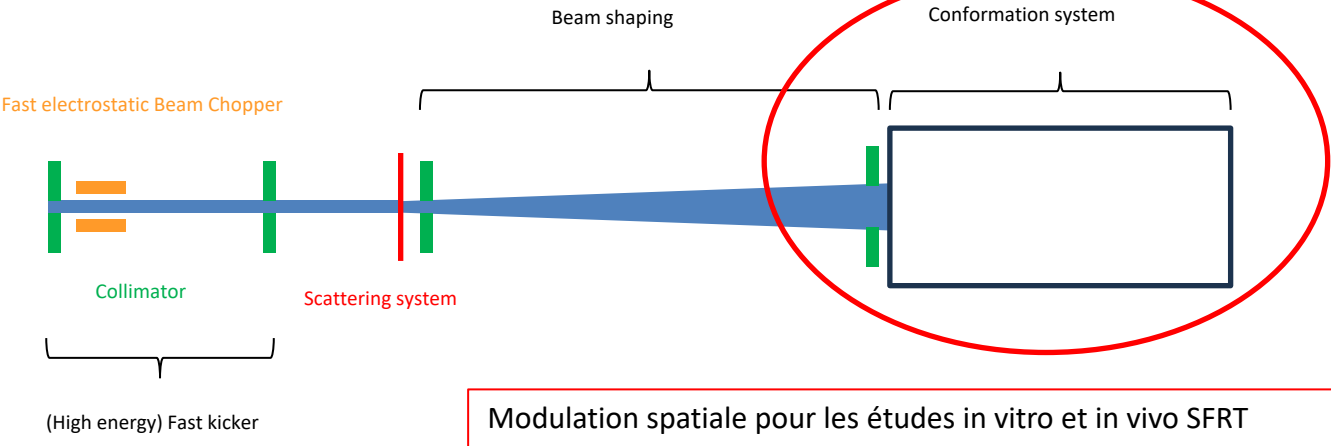


- Pour qui ?
 - Radiobiologistes

- Comment ?
 - Irradiations Passives
 - ✓ Débit de dose constant sur la cible (cellule, tumoroides, petit animal)



D. Arous et al., 2023



- La conception de la salle doit également prendre en compte les besoins des physiciens, des chimistes... et des industriels.
 - Mesures fondamentales SE (particules chargées, γ , β^+ , neutrons)
 - Développements en instrumentation
 - ✓ Moniteurs de faisceau, contrôles balistiques, système de dosimétrie pour Flash, Hypofractionation, SFRT,...
 - Synthèse des radioéléments pour un usage théranostique
 - ✓ Radiothérapie alpha-vectorisée
 - Interactions ion-matière
 - Radiolyse
 - Qualification et durcissement microélectroniques
 - ✓ Aérospatial,....

Merci

□ Inter-comparaison dosimétrie physique (2024-2025)

➤ Morgane Dos Santos (ASNR)

Dosimétrie Alanine :
Equivalent tissu
Métrologie (référence dosimétrique)
Linéarité de la réponse en dose
Stabilité des radicaux libres
Incertitude inf. à 4,5% (k=2)

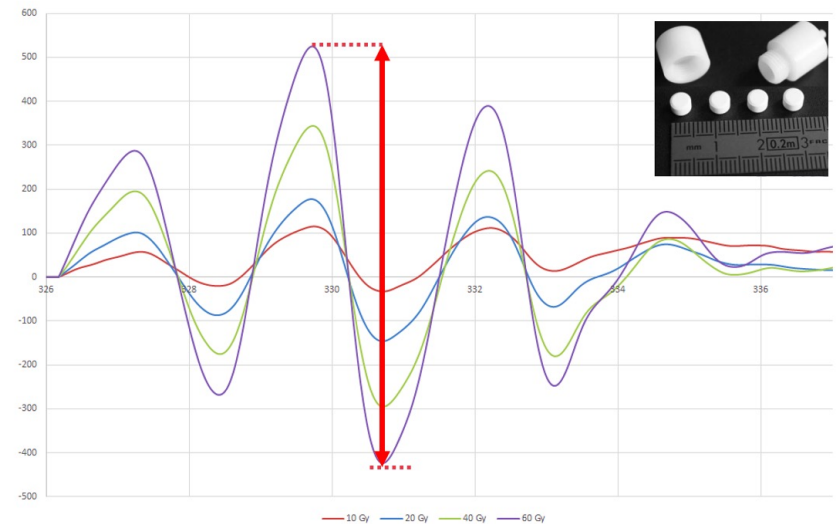
Dimensions :

Ø 5 mm, h = 3 mm

Ø 4 mm, h = 2 mm

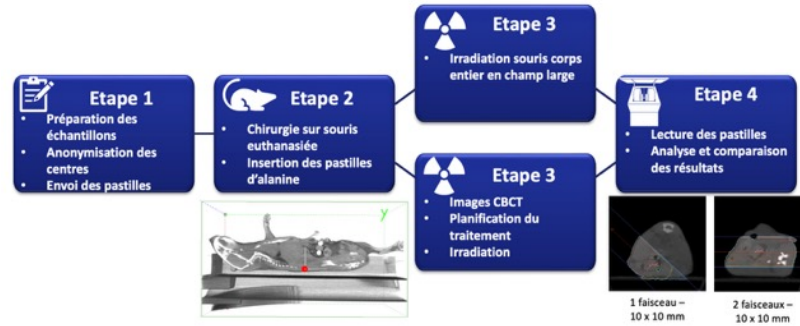
Spectromètre E500, bande X

Champ magnétique	326 mT < B < 346 mT
Gain	10 dB
Puissance micro onde	10 mW
Modulation	0,7 dB
Nombre de scans	1
Nombre de lecture	4 par pastille

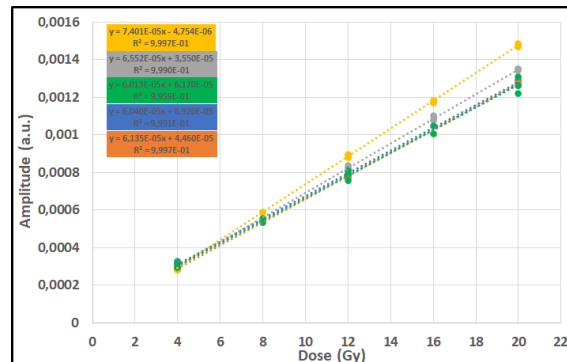
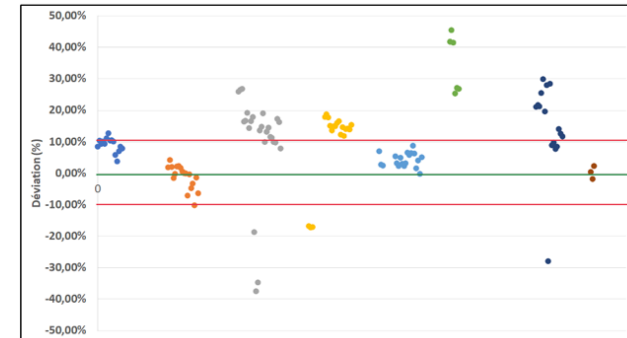


Inter-comparaison dosimétrie physique (2024-2025)

Résultats RX



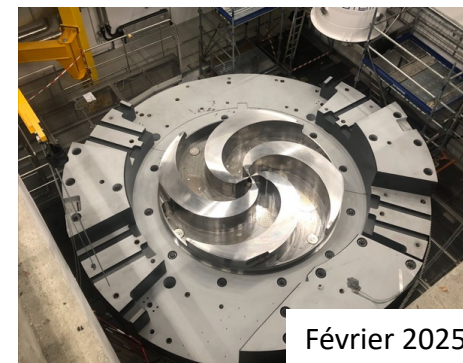
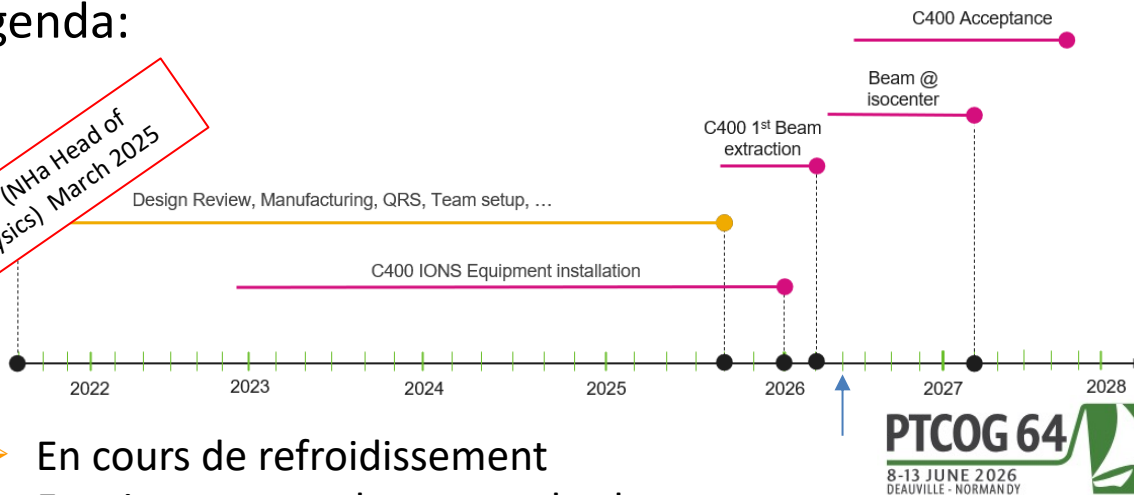
Résultats hadron



Status du C400 status

Agenda:

de V. Letellier (NHa Head of Medical Physics) March 2025



- En cours de refroidissement
- Ensuite: mesure des cartes de champ
- Première extraction avant la fin d'année

Caractéristiques principales:

- p @ 265 MeV; He, C @ 400 MeV/n
- RF: 75 MHz pour $^{12}\text{C}^{6+}$, 75.6 MHz pour H^{2+}
 - ✓ Faisceau quasi-continue
- L'endroit pour faire des recherches sur l'effet Flash



Isocenter performances

Clinical Beam Performance Specifications	Unit	Carbon	Proton	Helium
Maximum range	g/cm ²	≥ 27	≥ 32	
Beam position accuracy at isocenter	mm	≤ 0.5		
Beam spot size @ max range (1σ)	mm	≤ 3	≤ 3.6	≤ 3.6
Beam spot size @ min range (1σ)	mm	≤ 4	≤ 8	≤ 6
Maximum Field size	cm ²	≥ 20x20	≥ 30x30	≥ 28x28
SAD X/Y	cm	296 / 330		
Average dose rate (homogeneous cube of a 10 cm × 10 cm × 10 cm)	Gy/min	≥ 2		
Patient Positioning and Alignment Specifications	Unit	Couch	Chair	
Treatment volume (L x W x H)	cm	100 x 50 x 40	32 x 23 x 55	
Yaw rotation for prescription / correction	°	± 90 / ± 5	± 180 / ± 5	
Pitch and roll range for prescription / correction	°	± 10 / ± 5		

Introduction



- Designs and produces its own C400 IONS treatment system
- Designs the superconducting cyclotron 400MeV/u
- Designs the treatment rooms with fixe beamline / couch / chair
- Markets the C400 IONS treatment system



- Accelerators technology is IBA's DNA
- Supports design of the C400 heavy ion cyclotron and beamline
- Treatment room equipment based on IBA software and hardware
- Supports market the new heavy ion system



CYCLHAD
CYCLOTRONS POUR L'HADRONTHERAPIE

- Proton therapy center hosting Baclesse Medical teams
- Future Heavy ion therapy center
- International Research center in Particle therapy, Fundamental physics and Industry
- Host of radiobiology offices, labs and temporary animal area