

Le Centre de Protonthérapie d'Orsay de l'Institut Curie

(certaines diapositives qui ont servi de support au séminaire ...)

**Samuel Meyroneinc
Responsable Service Technique et Ingénierie
Institut Curie – Centre de Protonthérapie d'Orsay**

Séminaire LAL – 30 juin 2015

sommaire

La Protonthérapie

Le Centre de Protonthérapie d'Orsay

Rappels historiques

Séquence 2010-1015

Processus de traitement

Retours d'expérience

Perspectives

pour la Protonthérapie

pour le CPO et l'Institut Curie

dans le cadre du Campus

Questions - discussions

Séminaire LAL 7 juillet 2015:

Nouvelles approches (et nouveaux besoins) en radiothérapie

by Yolanda Prezado (IMNC)

La Radiothérapie La Protonthérapie

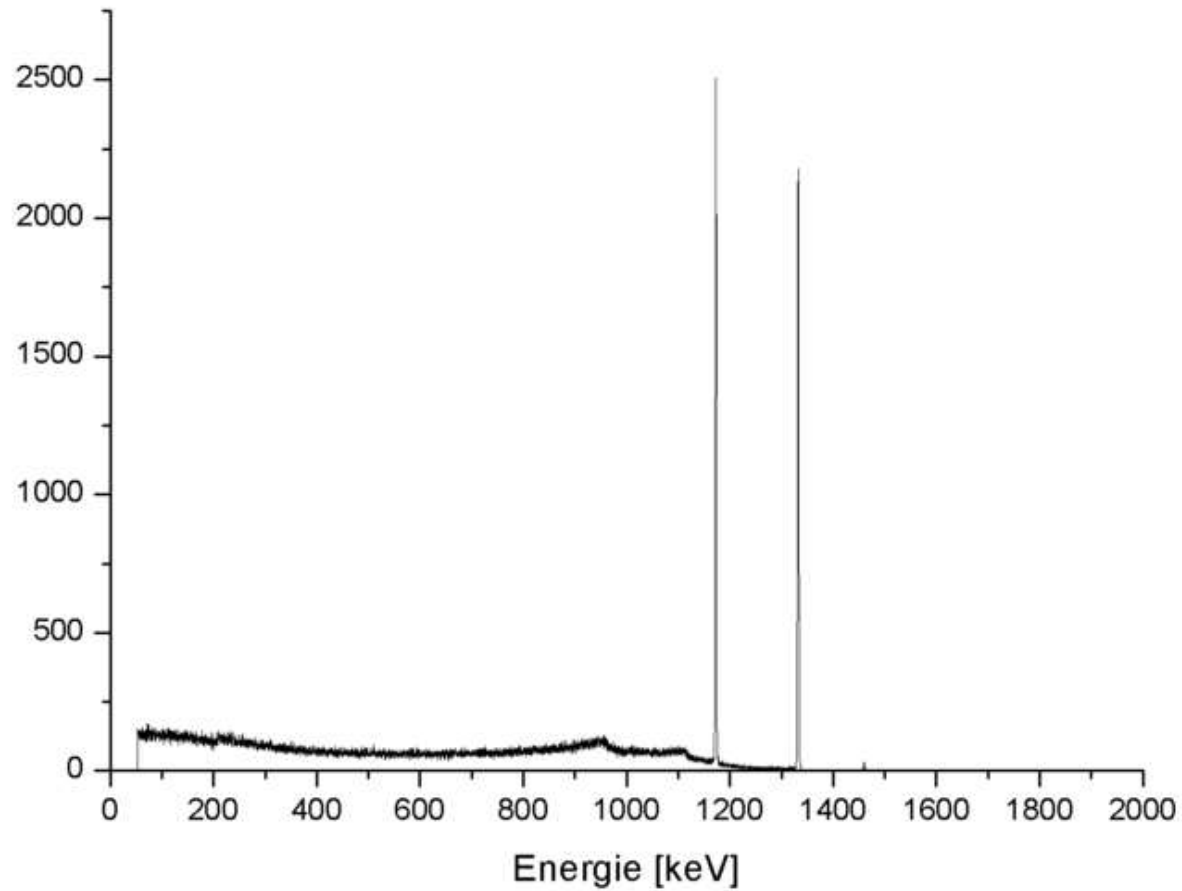


institut**Curie**

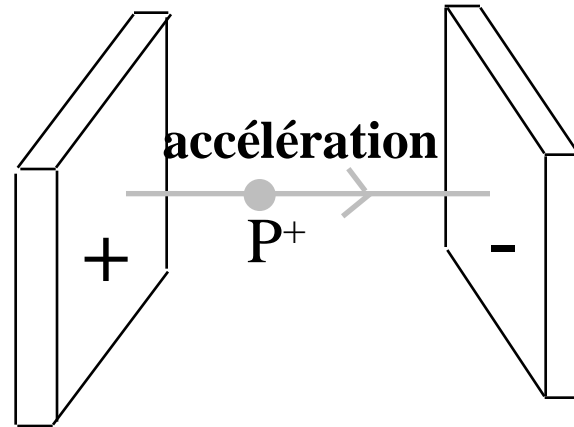


Georges Chicotot (1907)
médecin radiologue peintre du tableau

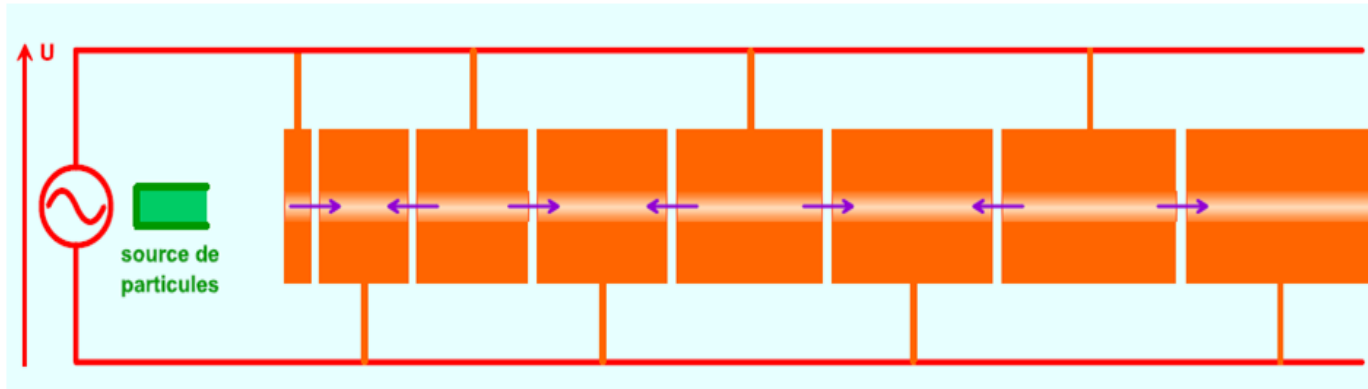
Source cobalt 60



Principe du Linac (accélérateur linéaire)



Champ électrique

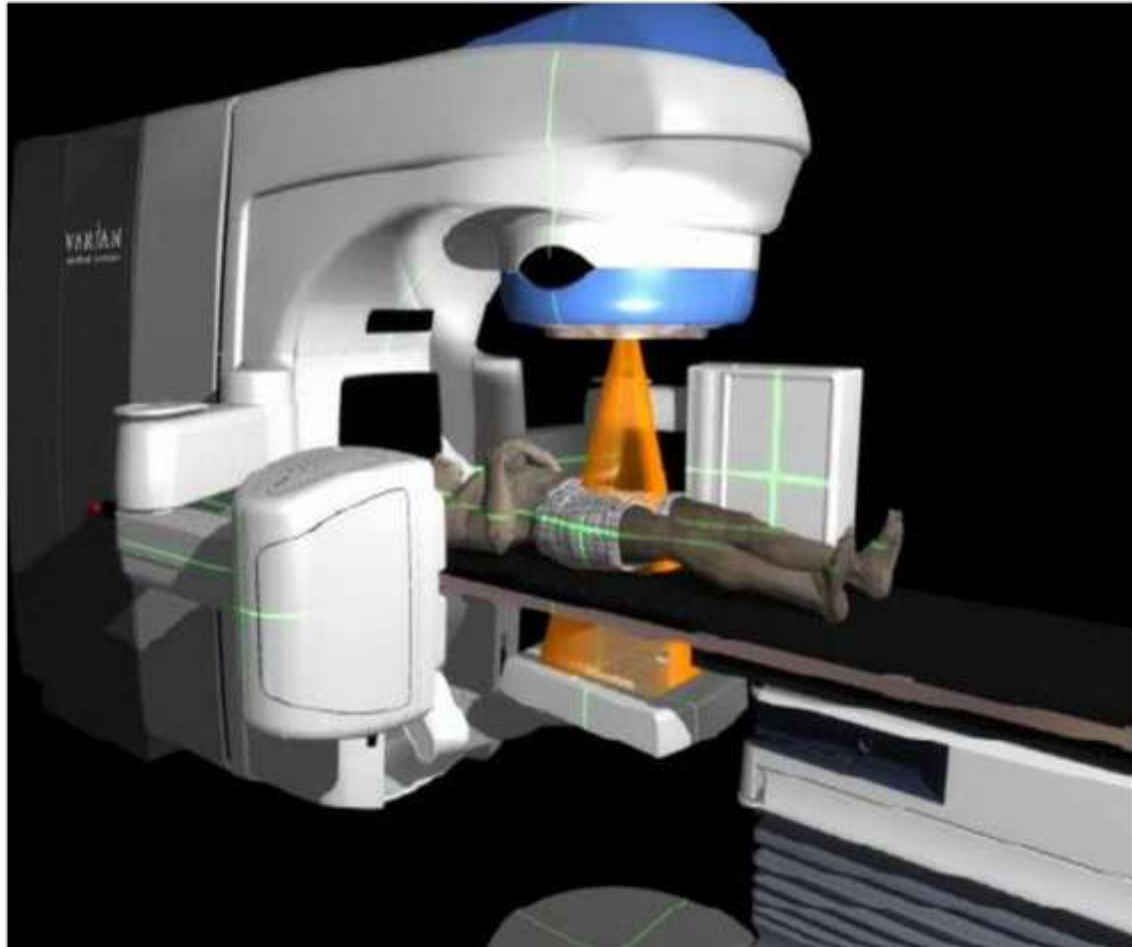


Linac (à électrons) pour la radiothérapie (X, e⁻)



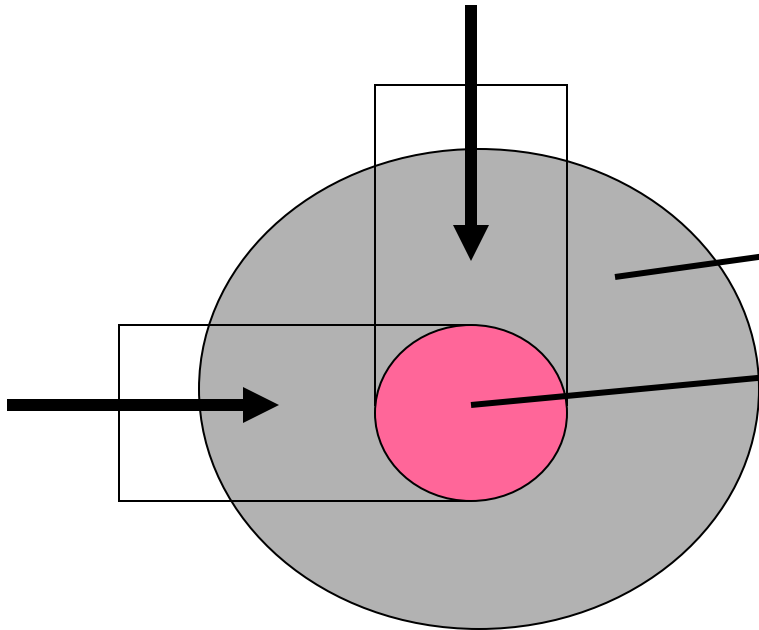
- Klystron de 10 MW (110 KV , 100 A) environ sur 5 micro secondes de large
- Fréquence onde: 3 GHz (2998 Mhz)
- fréquence de répétition de 50 a 400 Hz en fonction de l'énergie et du débit sélectionnés

Radiation therapy (based on X or e^- 6-20 MeV)

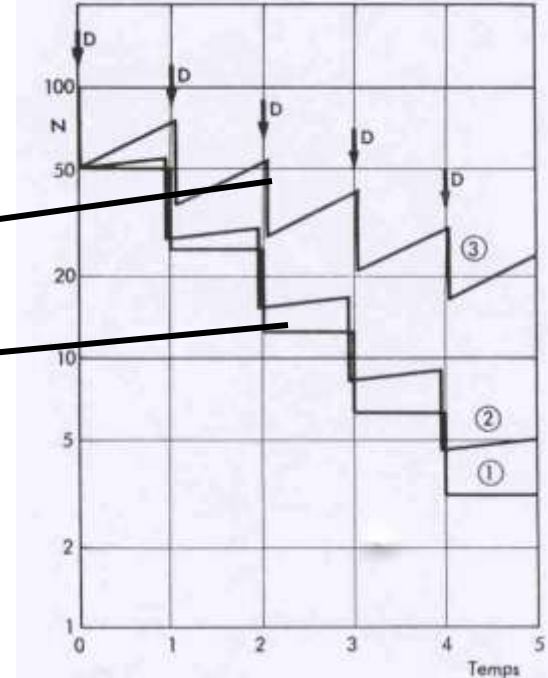


Basis of radiotherapy

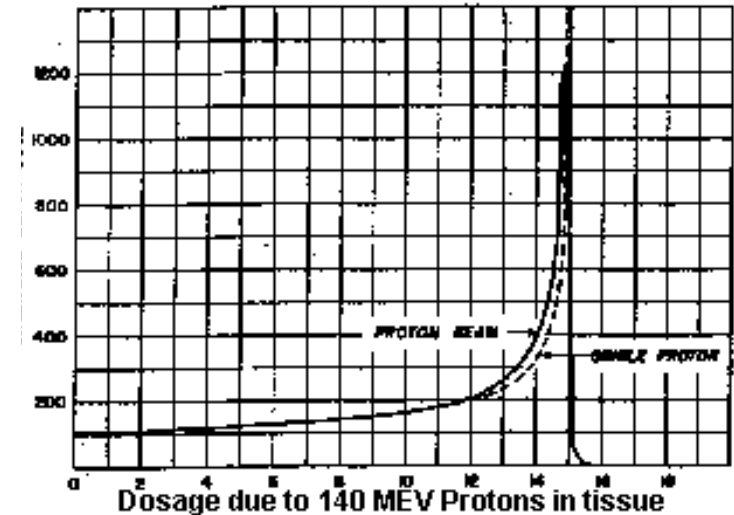
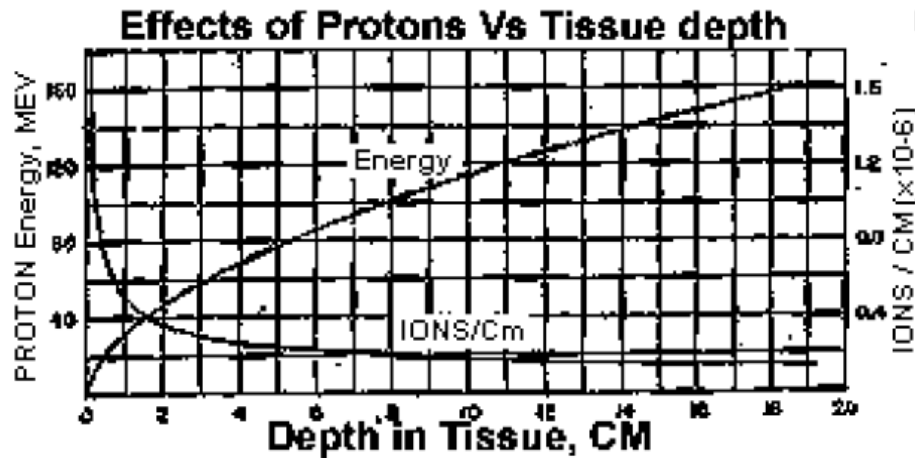
1. Multi-porting



2. Fractionation for differential effect (typical: 2 Gy/day)

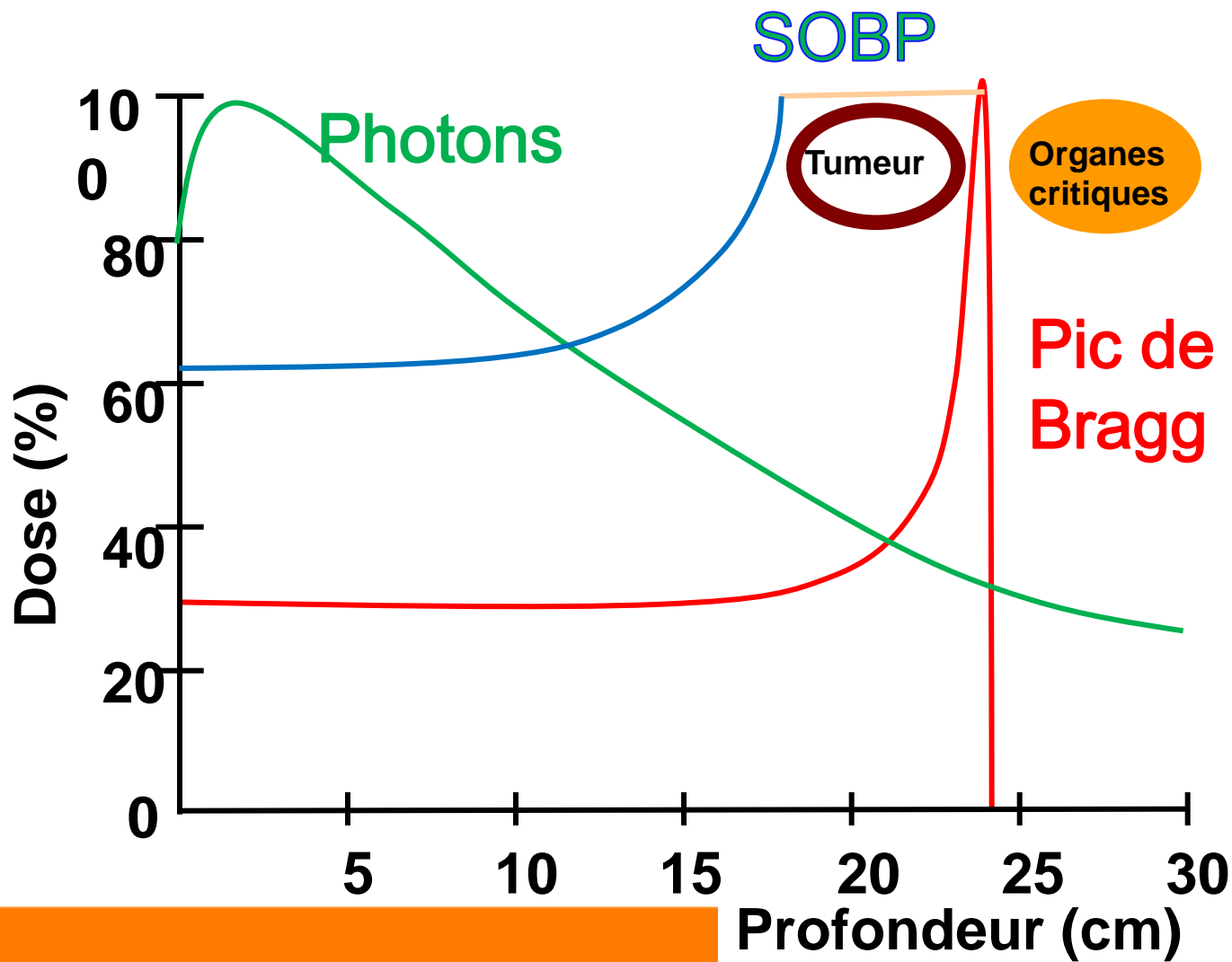


Pertinence d'utilisation des particules lourde chargées en RadioThérapie - Wilson (1946)

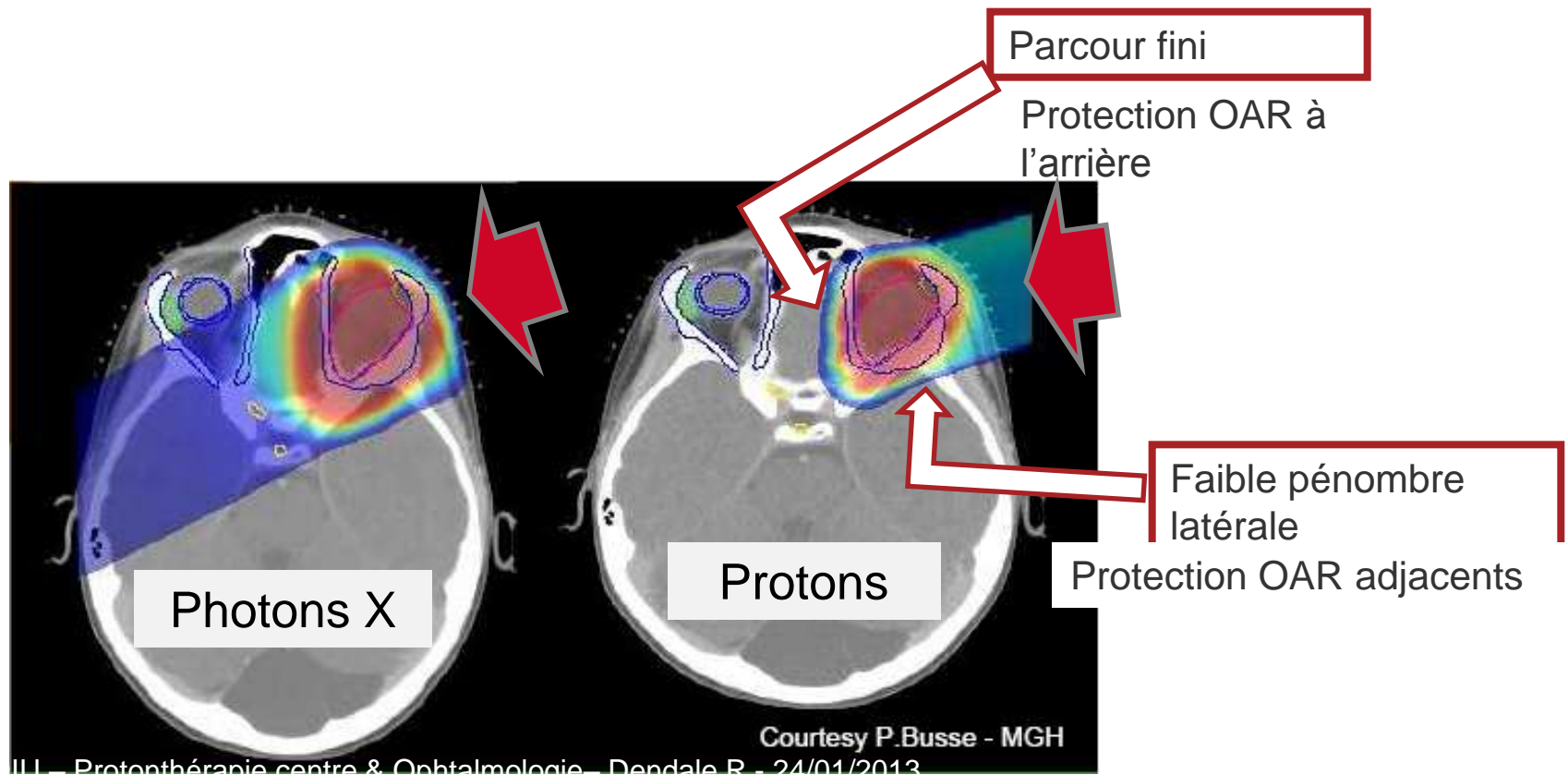


masse proton = 1836 masse électron

Avantages physiques et balistiques de protons vs photons



Faisceau de Photons Vs Faisceau de Protons



Un seul faisceau

Accélérateurs & Thérapie par particules lourdes chargées

Ère primaire
(1955-1985)

- Utilisation d'installations de recherche
- Activité confidentielle

Hadron Therapy Pioneers



The Harvard Cyclotron Laboratory
1960-2002

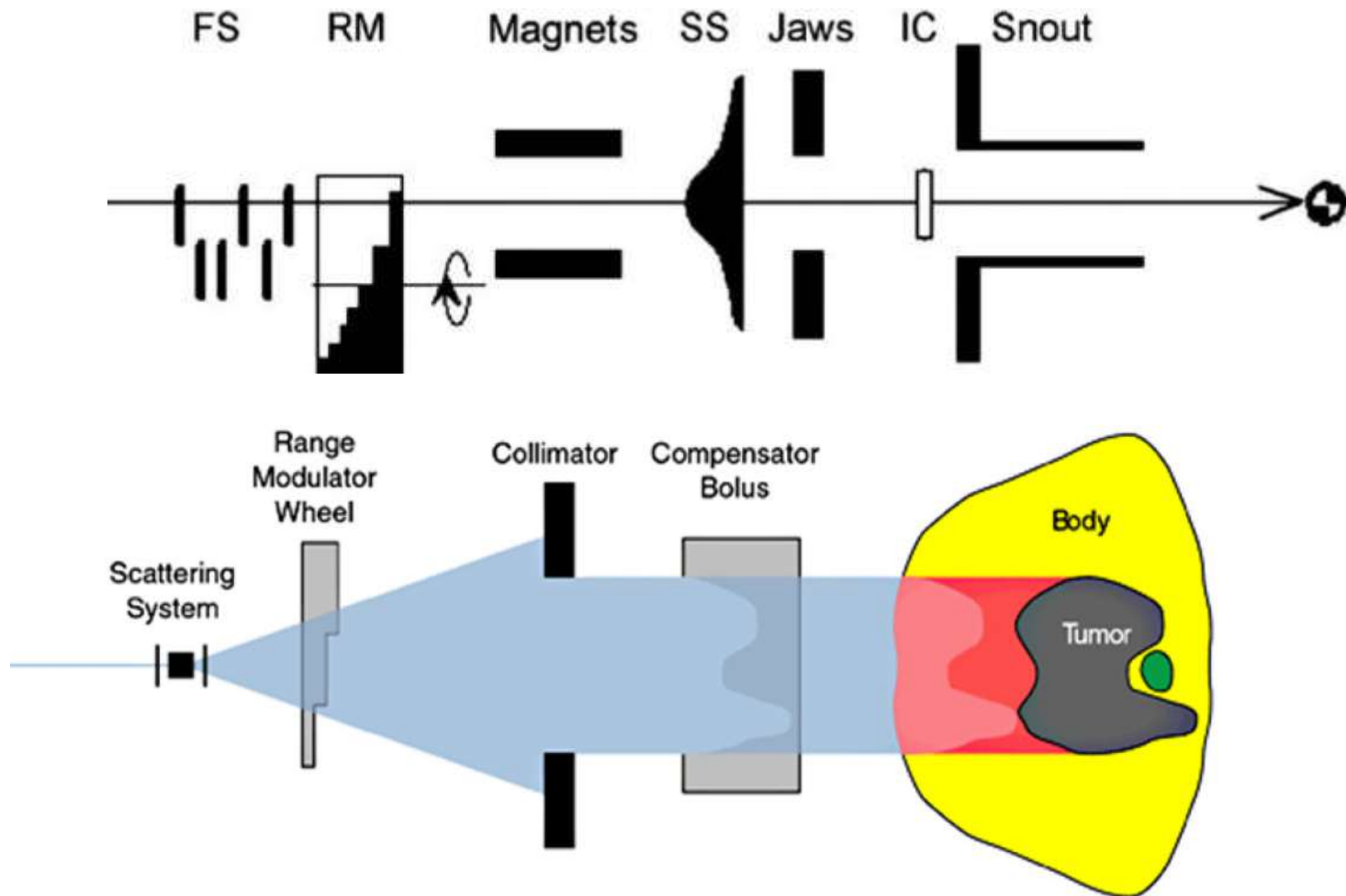


The LBNL 184-Inch Synchrocyclotron
1954-1986



The Svedberg Laboratory, Uppsala
1957-1970

Diffusion passive



Accélérateurs & Thérapie par particules lourdes chargées

Ère primaire
(1955-1985)

- Utilisation d'installations de recherche
- Activité confidentielle

Ère secondaire
(1985-2015)

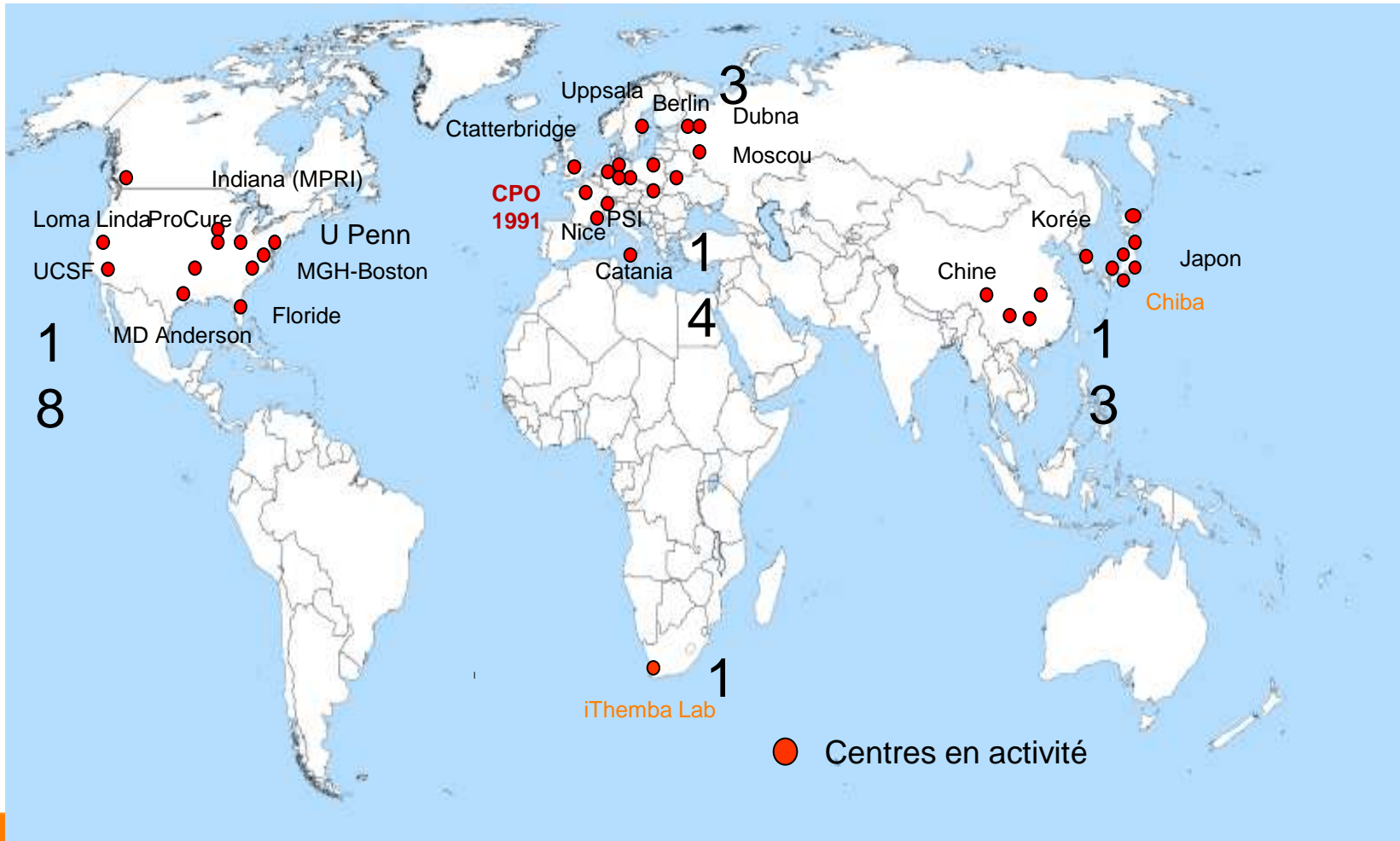
- Premiers fournisseurs industriels
- Début d'une activité clinique significative

1ère génération de centre de protonthérapie (50-130 M€)



Protonthérapie dans le monde de 1954 – 2014

(www.ptcog.ch)

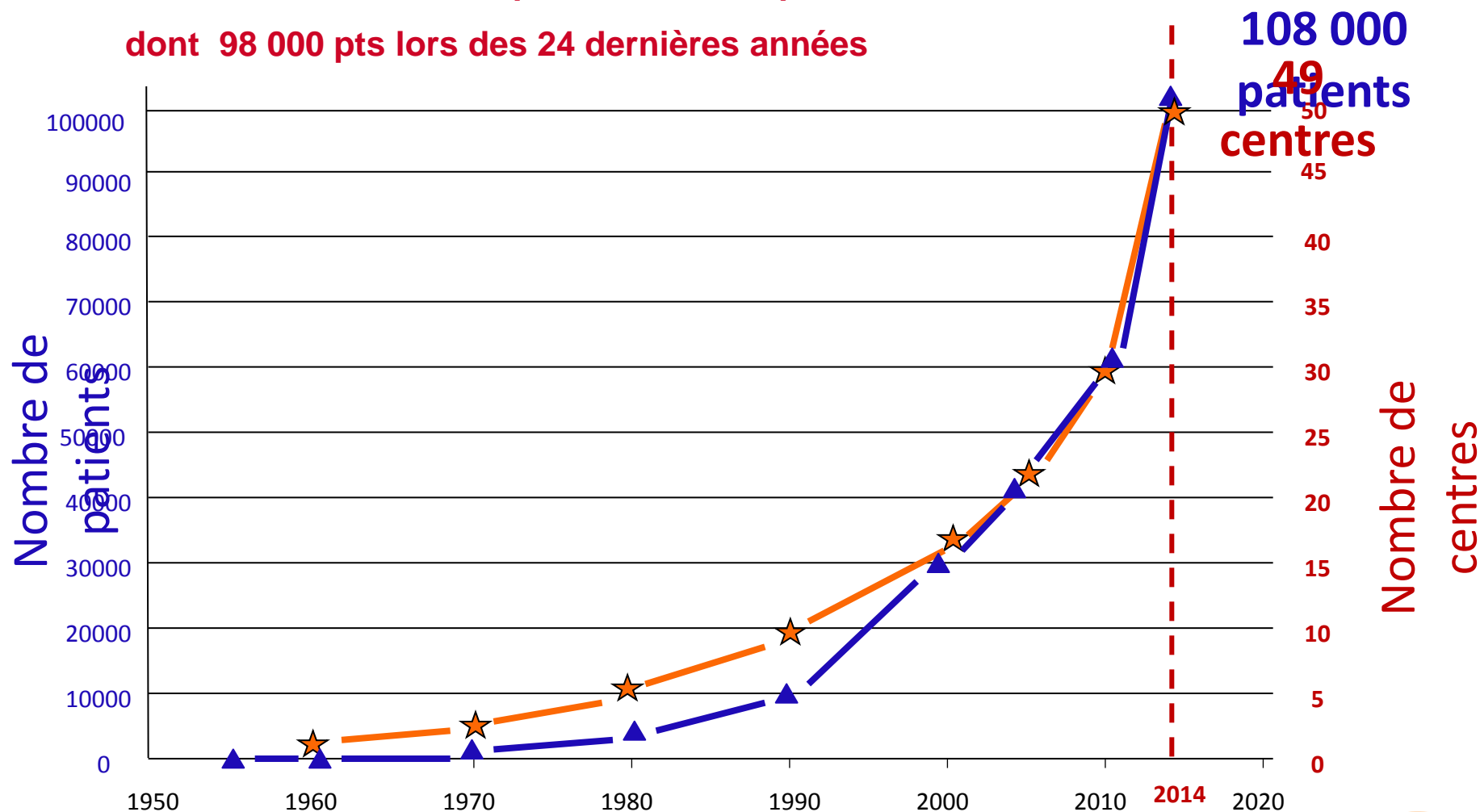


Centres de protonthérapie dans le monde 2014

Source : www.ptcog.ch

49 centres en activité – près de 108 000 patients traités

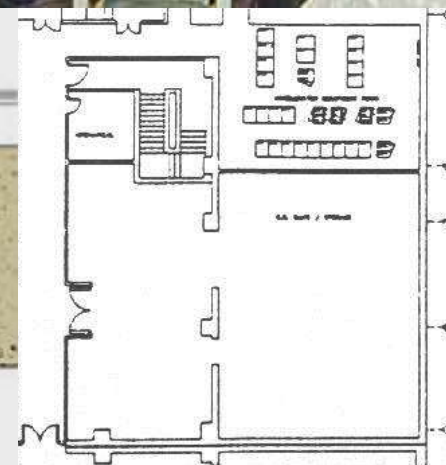
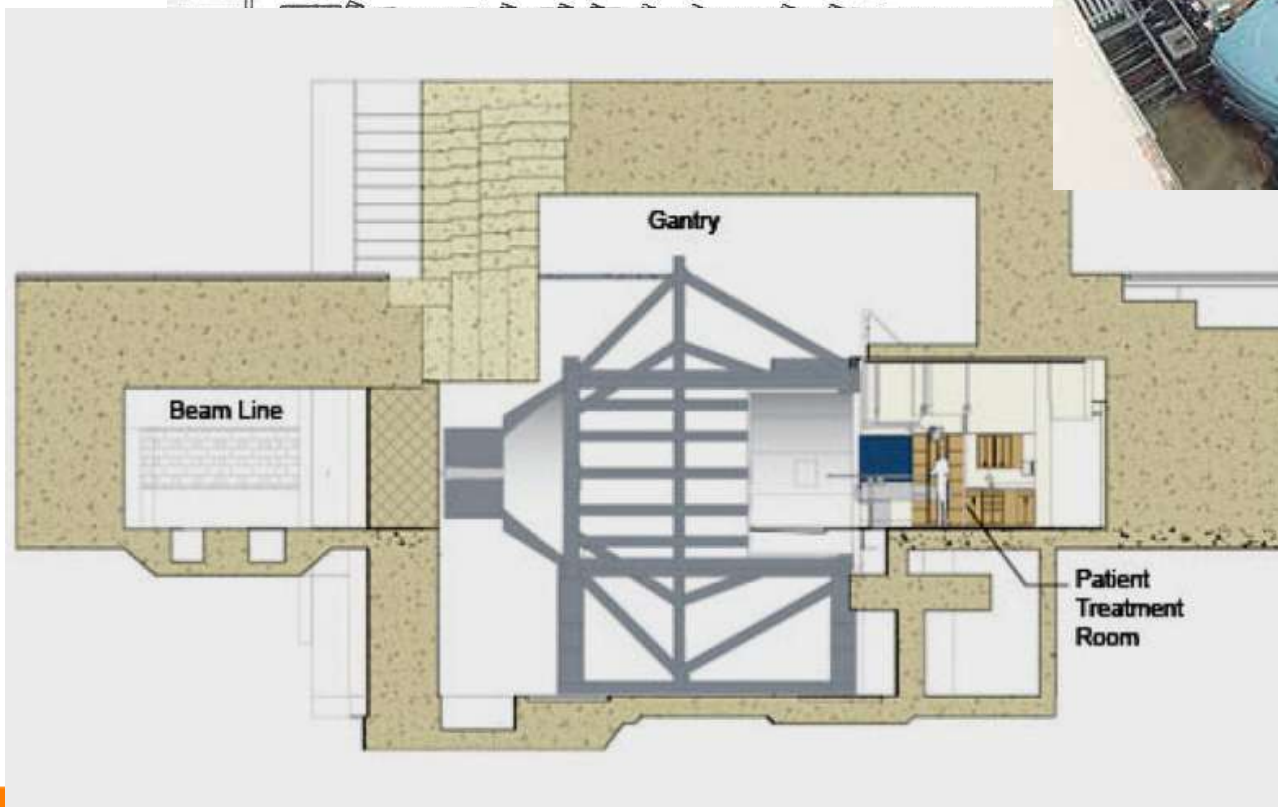
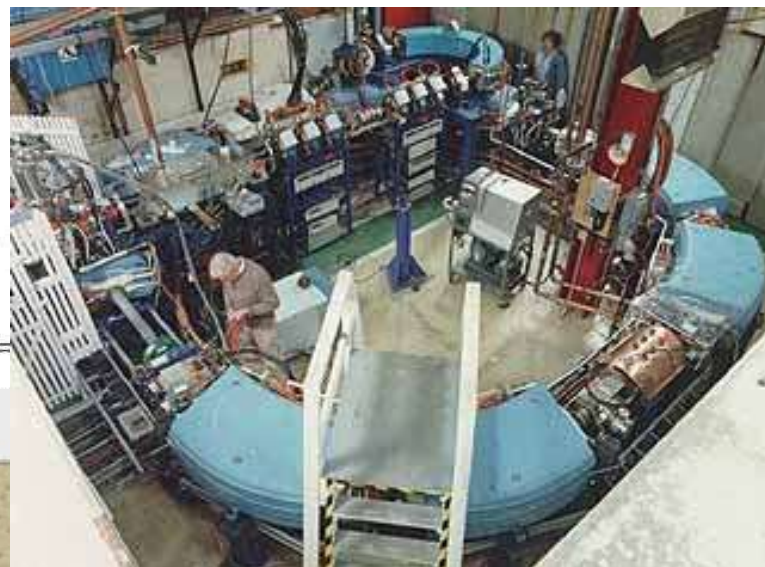
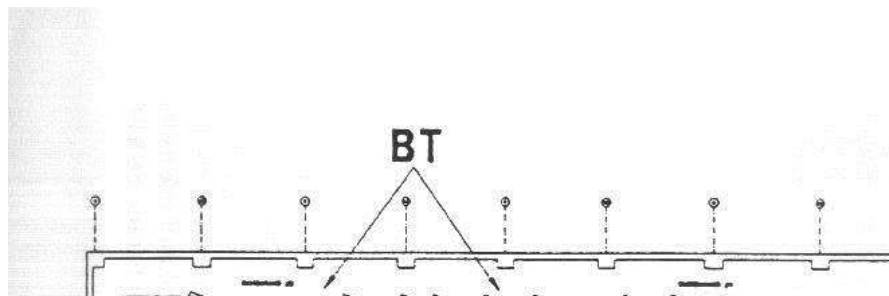
dont 98 000 pts lors des 24 dernières années



Les 3 questions des industriels

- **Quel est le besoin ?**
- **Quelles sont mes responsabilités ?**
- **Est-ce profitable ?**

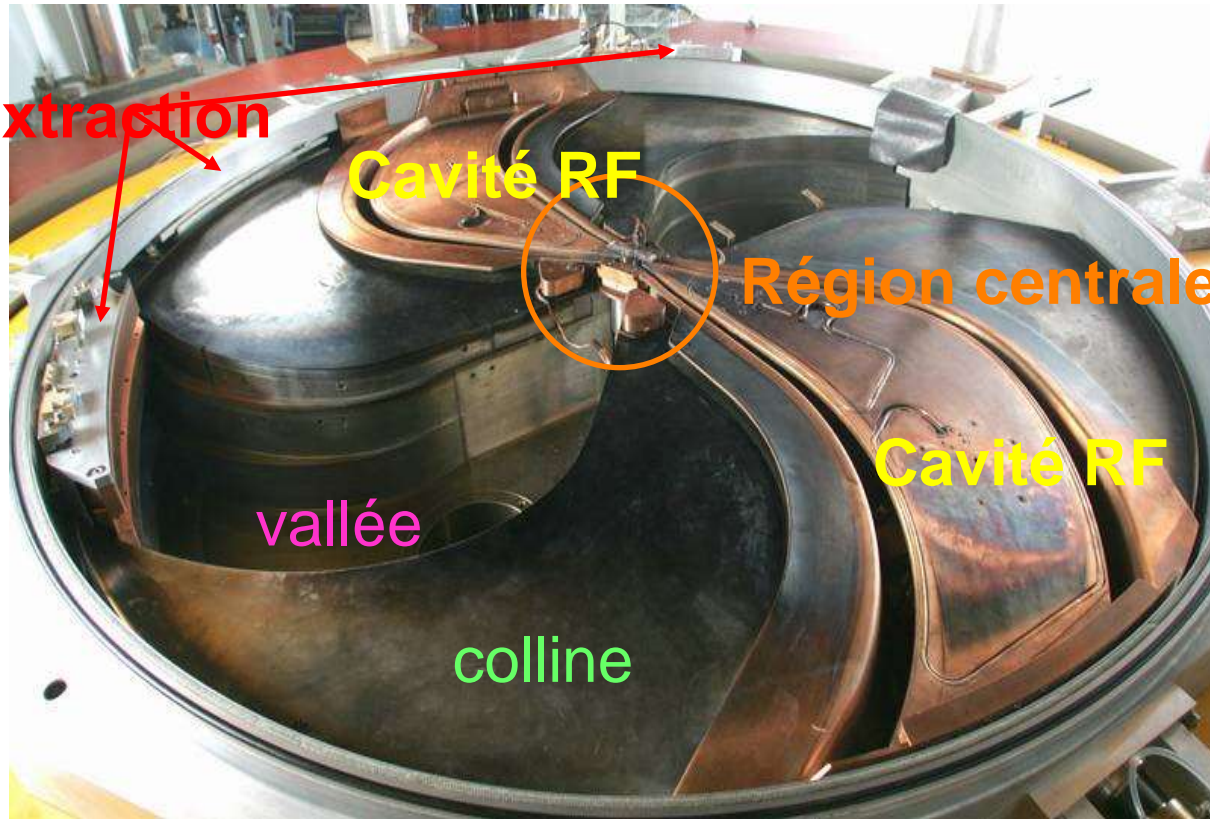
Loma Linda – 1990- Californie



Cyclotron C230 - IBA (230 MeV, 500nA)



Le cyclotron C230 - IBA



Système d'extraction

Cavité RF

Région centrale

Cavité RF

vallée

colline

4 vallées
4 collines

Accélérateurs & Thérapie par particules lourdes chargées

Ère primaire
(1955-1985)

- Utilisation d'installations de recherche
- Activité confidentielle

Ère secondaire
(1985-2015)

- Premiers fournisseurs industriels
- Début d'une activité clinique significative

?

• ?

Le Centre de Protonthérapie d'Orsay

Généalogie et histoire

Campus Orsay 1957



1958: configuration Orsay n°1

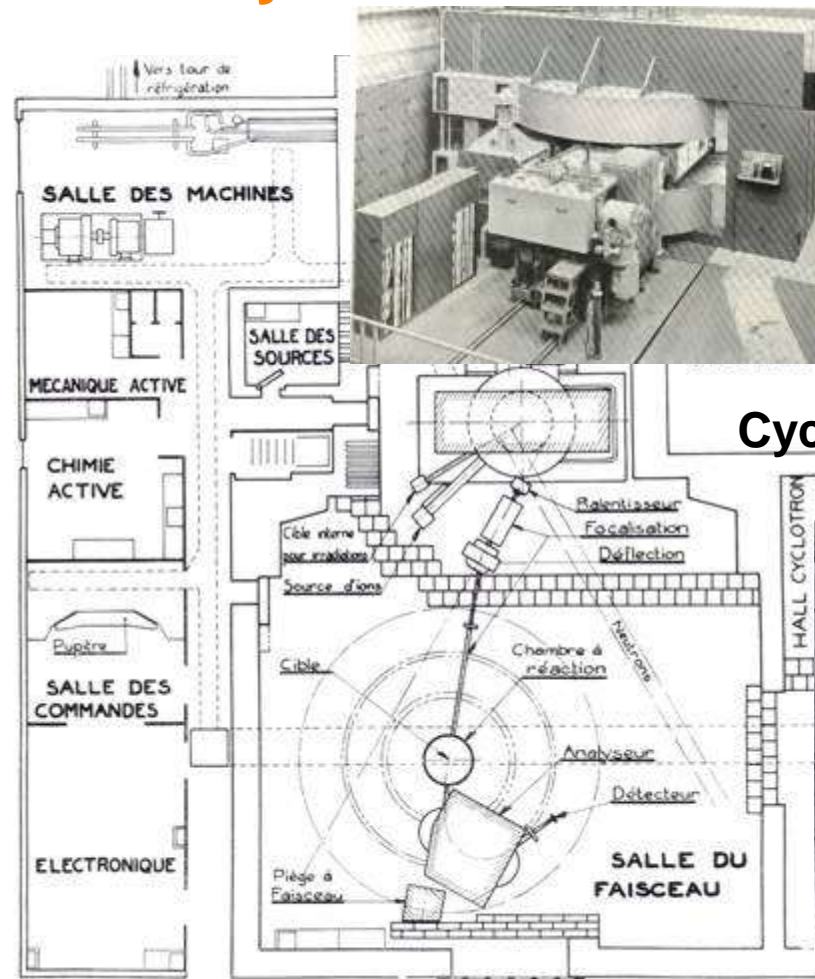


FIGURE 1. — Synchro-Cyclotron (110 MeV) d'Orsay.



Synchro-cyclotron
Philips (160 MeV)

Cyclotron Collège (6 MeV)

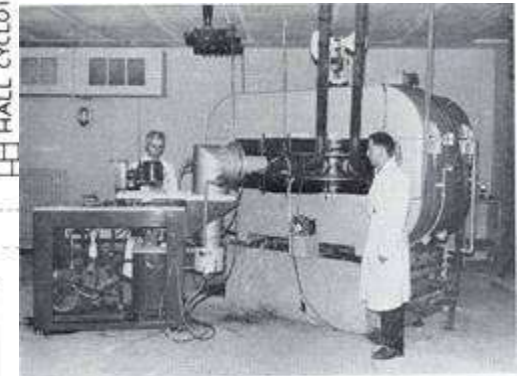
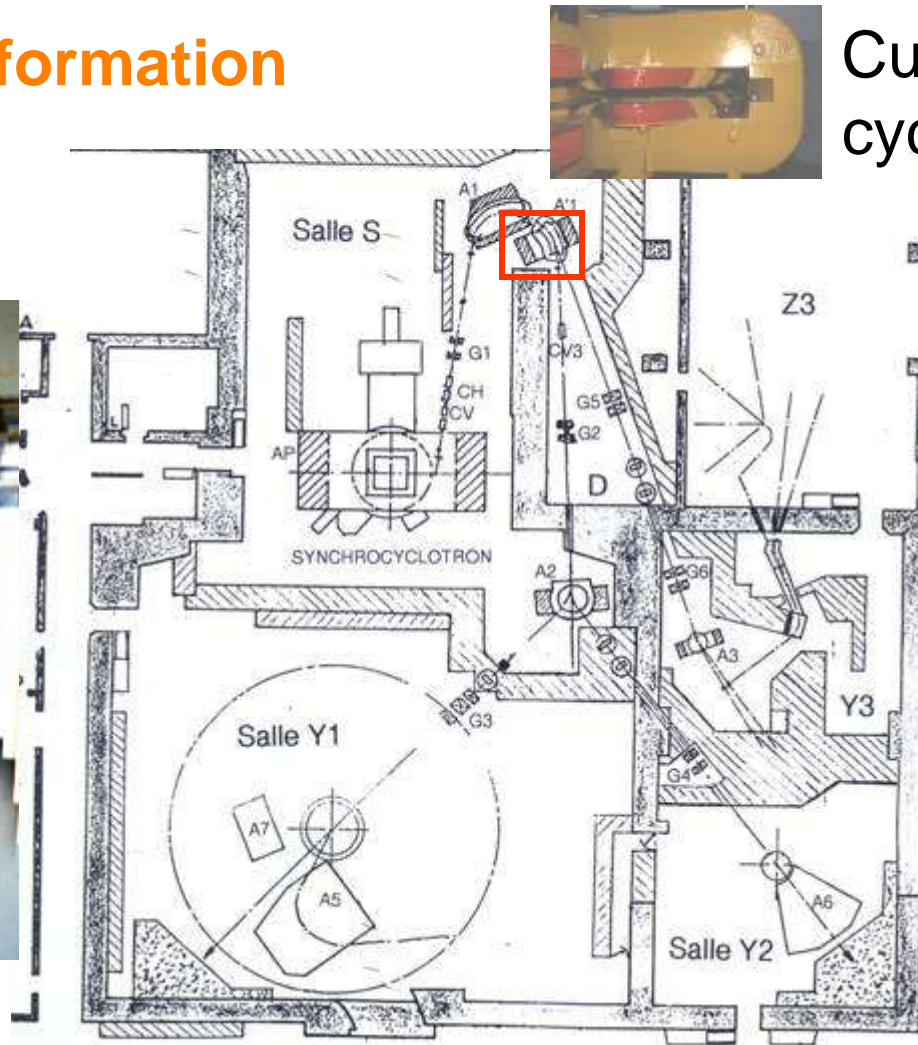


FIGURE 4. — Cyclotron du collège de France à faisceau analysé pour études fines de physique nucléaire.

1975-1978 Transformation

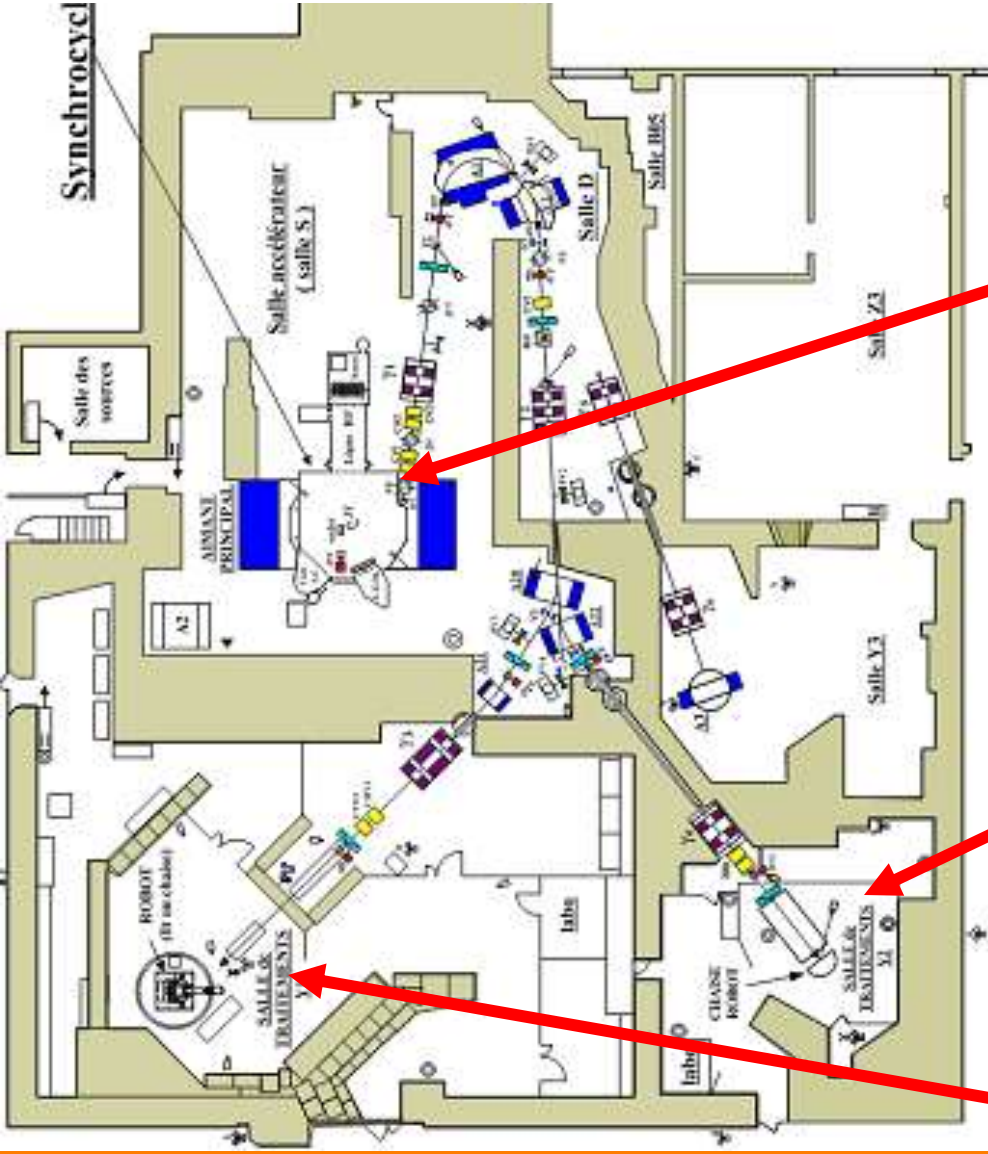
Synchro-cyclotron
200 MeV IPNO



Culasse
cyclo Collège

Institut Curie- Centre de Protonthérapie – Orsay (45 persons, 14 for technical)

Starts 1991. Patients treated: + 4000 eye + 1000 head&neck



Synchrocyclotron 200MeV



Small fields room



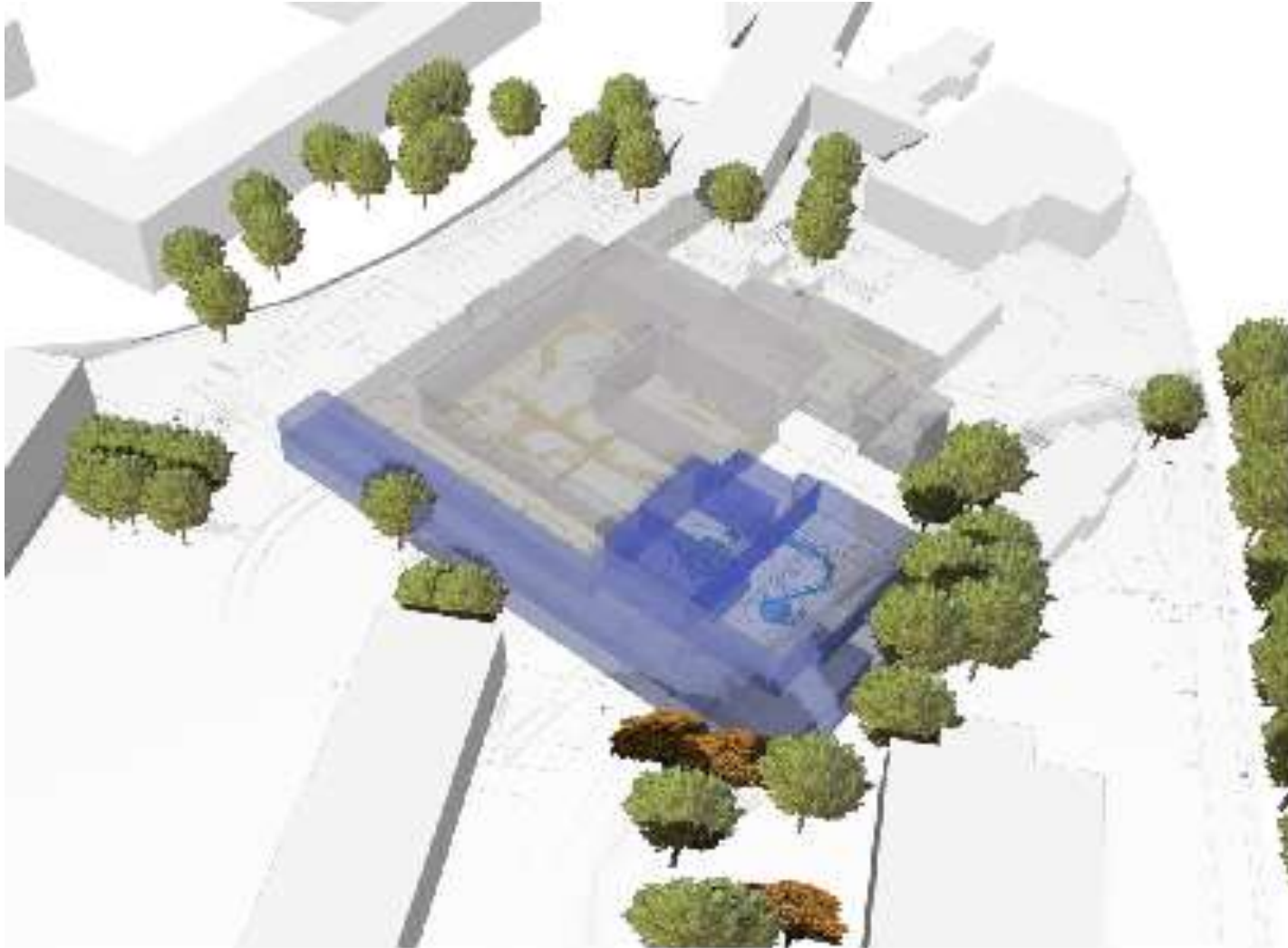
Large fields room



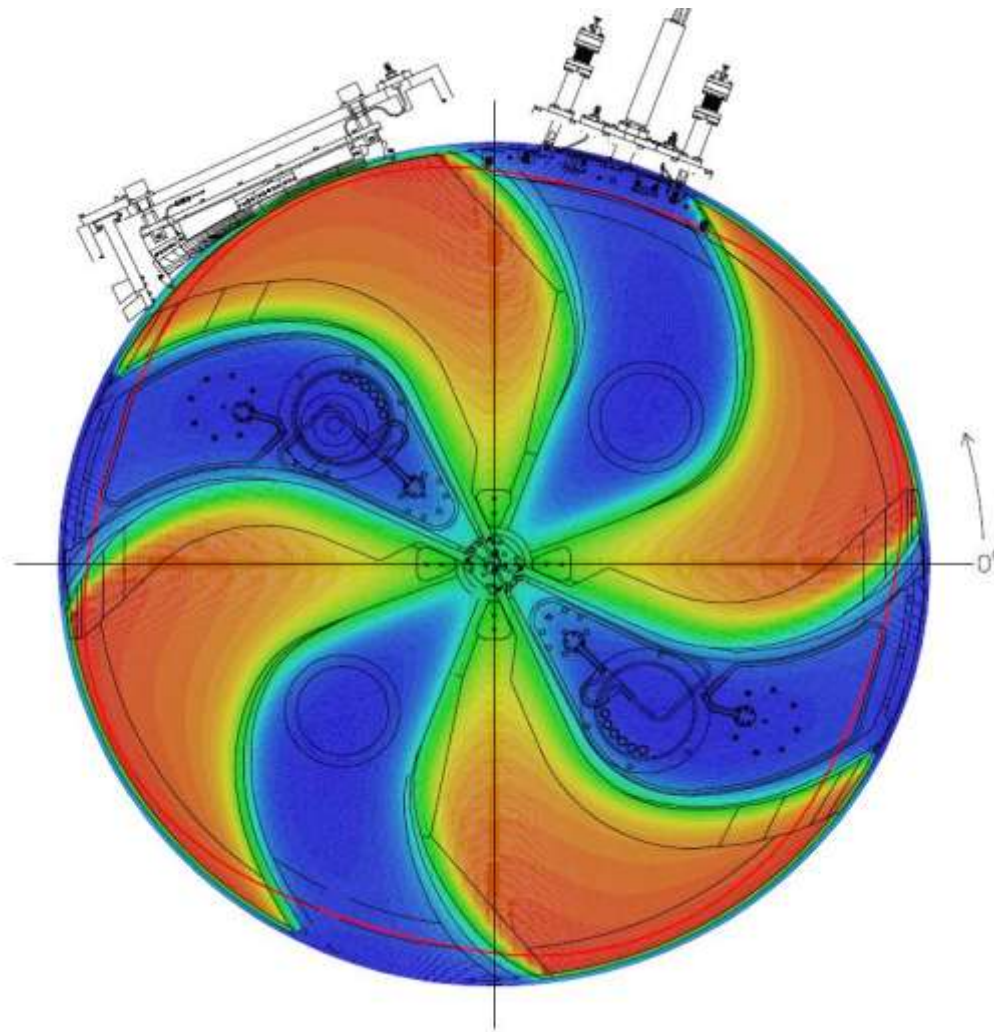
The medical specifications

	2006 (fixed beam)	from 2010 (with a gantry)
Eye Tumours	240	240 – 300
Base of skull	90	160 – 200
Children	10	100 – 130
Others	-	80 – 100
TOTAL	340	580 – 730

Building integration in the Campus



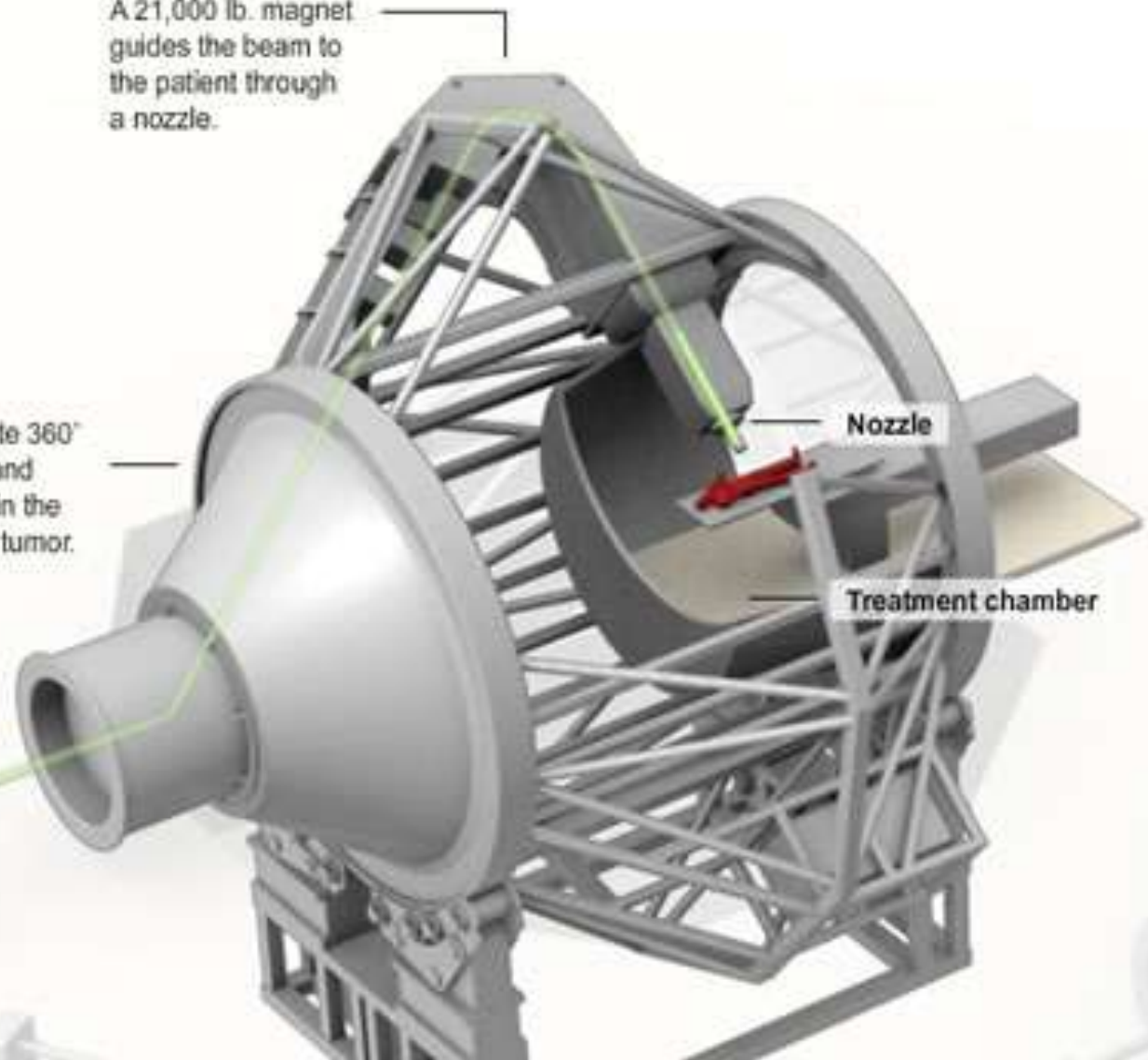
Mapping C230



Gantry (120 tons, D = 10,5m)

A 21,000 lb. magnet guides the beam to the patient through a nozzle.

Gantry
The gantry can rotate 360° around the patient and position the nozzle in the correct angle to the tumor.



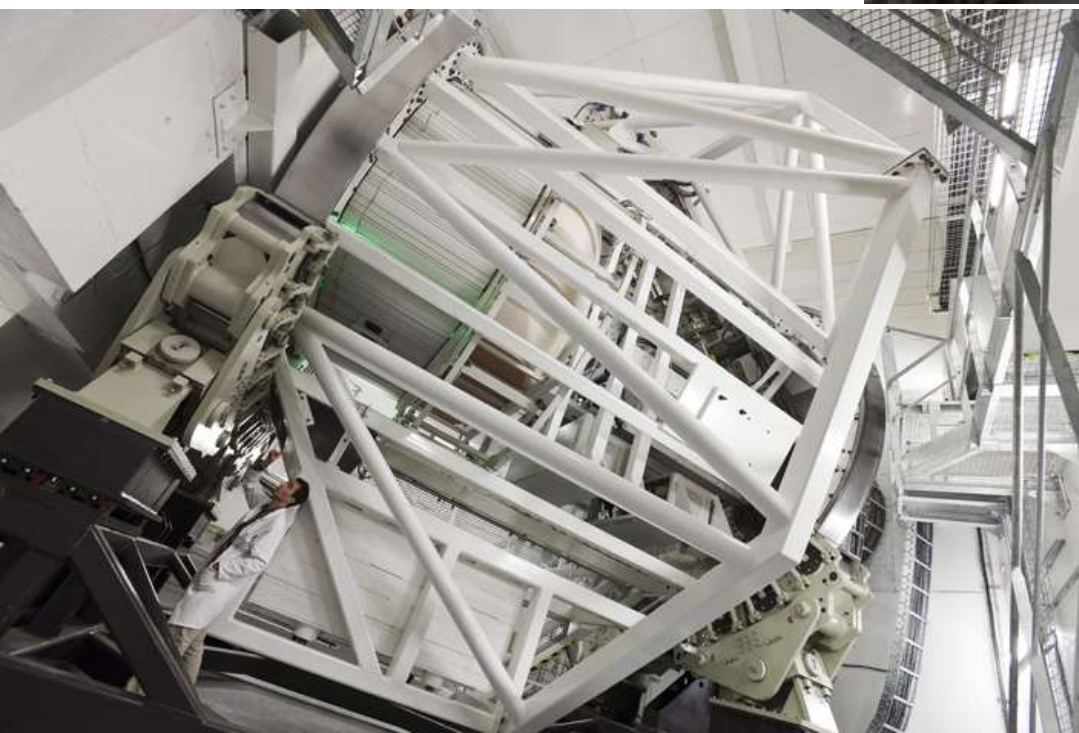
Gantry (10 m, 120 t)

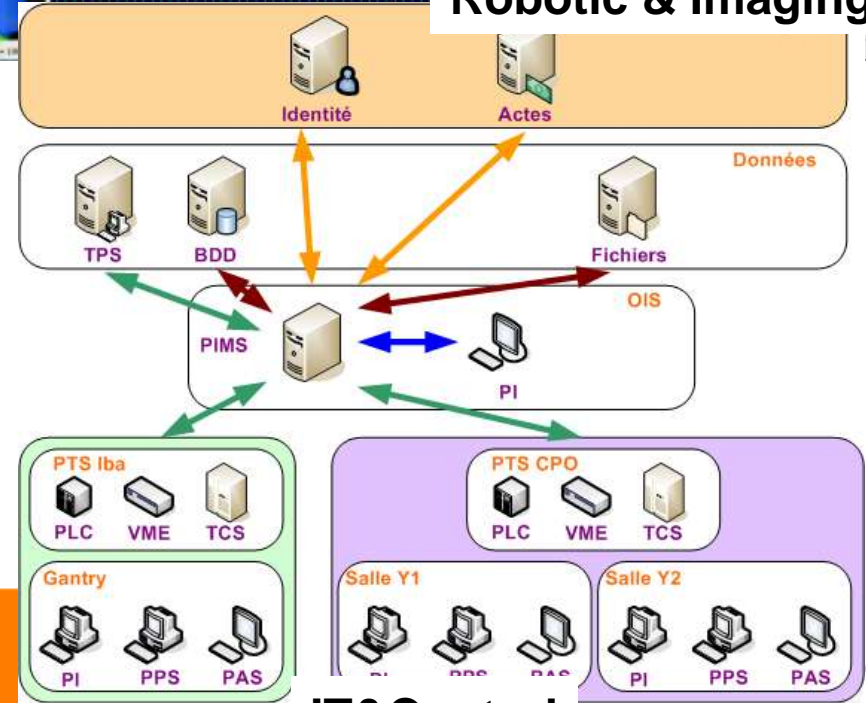


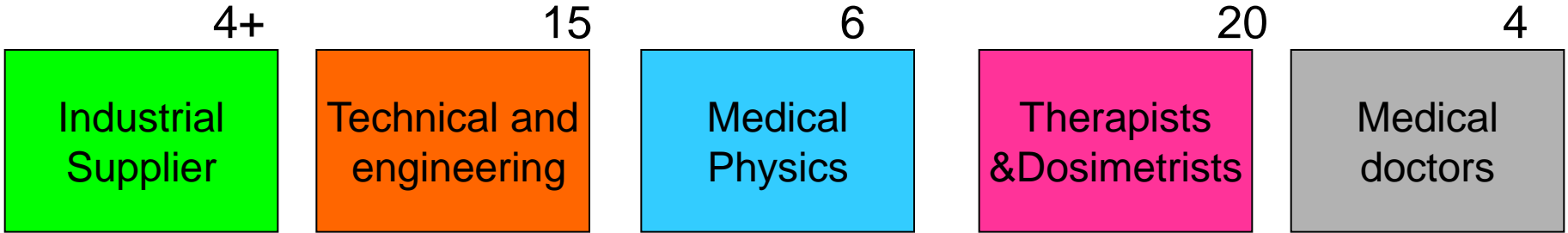
Gantry treatments











operate

Maint level 1

Test&QA

Maint level 2 ?

Developments

L'Institut Curie est un centre dédié aux Cancers travaillant sur le traitement et la recherche fondamentale, de transfert et clinique.

➤ **Groupe hospitalier**

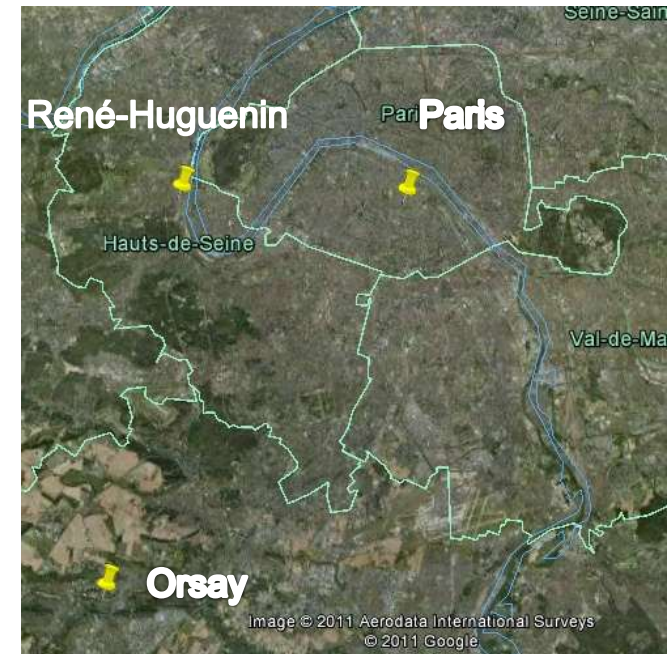
- Paris
Centre de protonthérapie (ICPO)
- René-Huguenin à Saint-Cloud

➤ **Centre de recherche**

- sur Paris et Orsay (80 équipes de recherche réparties en 15 unités et 17 plateformes)
Associées CNRS, Inserm, et les Universités.

- **Département de Recherche Translationnelle**

Transfert des innovations scientifiques aux soins du patient et/ou à la recherche pour la compréhension du cancer par la réalisation d'études cliniques



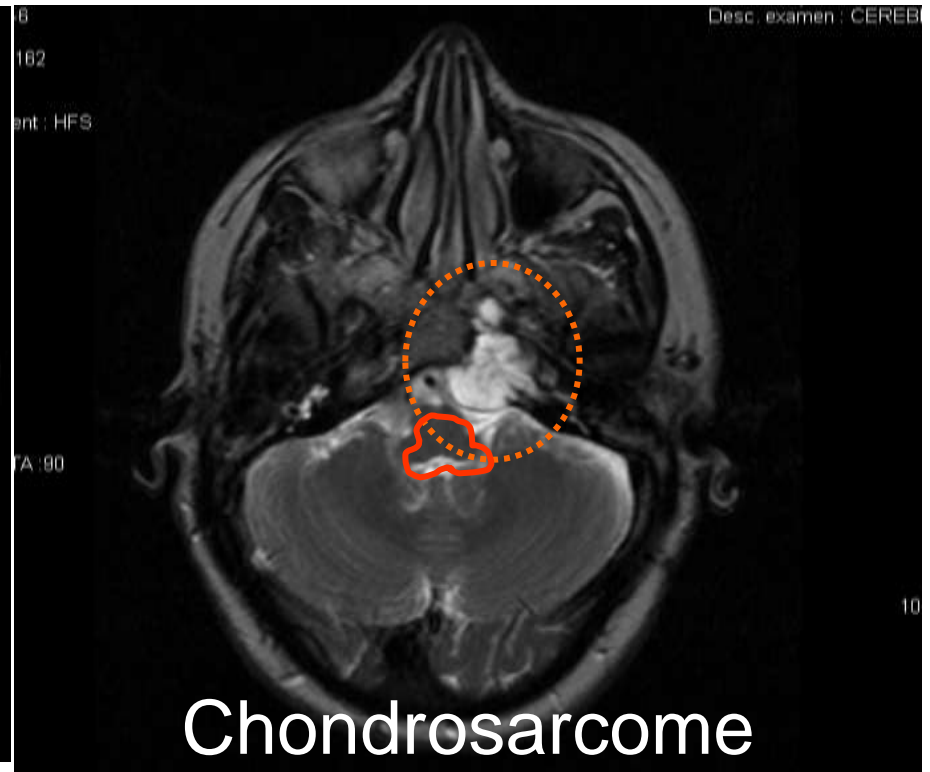
Traitement au CPO



Indications classiques de l'Adultes

Forte dose

Tumeurs localisées à proximité d'Organes à risque OAR pour lesquels les doses d'irradiation requises sont supérieures aux doses de tolérance de ces OAR



Tumeurs pédiatriques

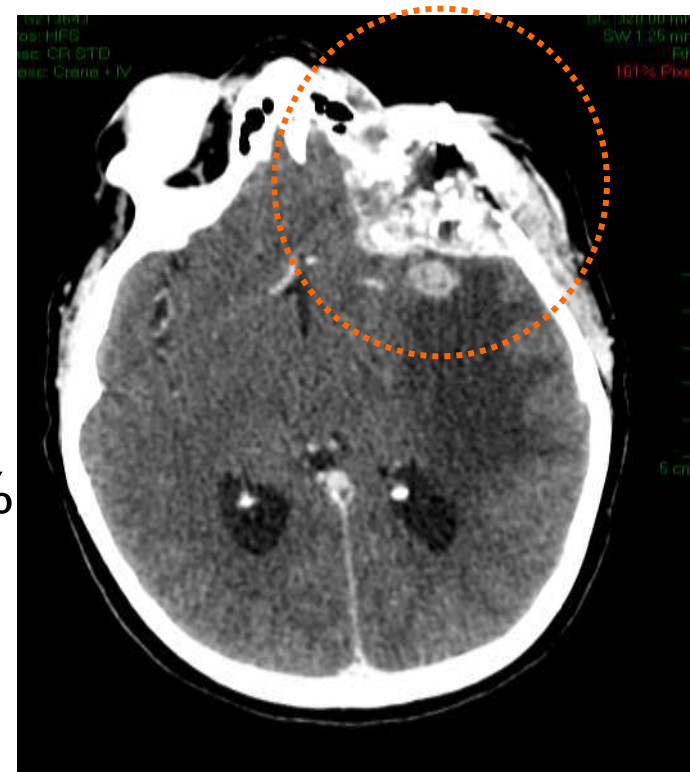
- Population en pleine croissance
- Plus grande radiosensibilité des tissus
- Souvent meilleure sensibilité tumorale

Protons peuvent :

- Diminuer la dose au tissus sains de 50-70%
- Diminuer les effets secondaires et les complications

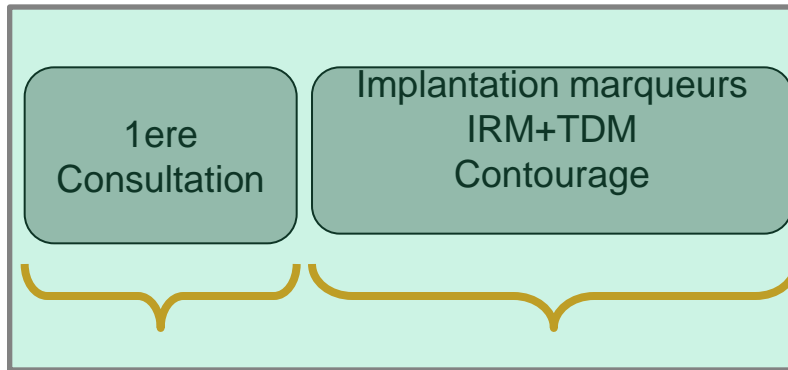
Protons pourraient:

- Réduire le risque de cancer secondaire

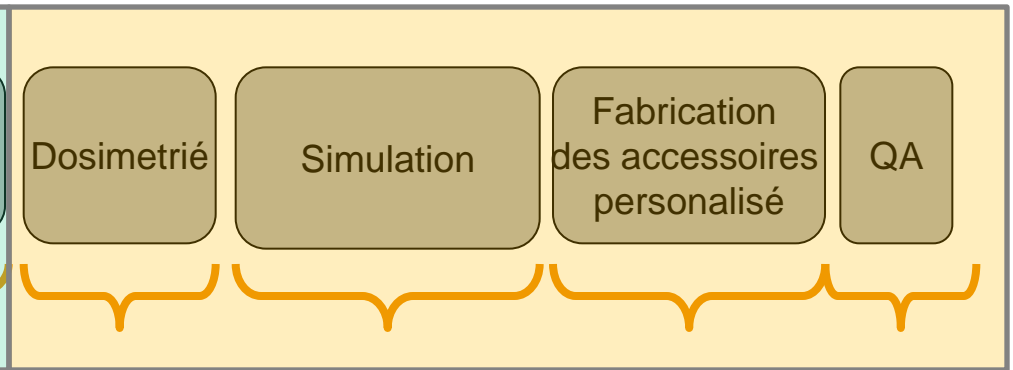


Workflow des traitements intracrâniens

Préparation 1



Préparation 2



•Autres sites de l'IC

•Centre de protonthérapie

• Hôpitaux Partenaires

Semaine 1

Semaine - 4

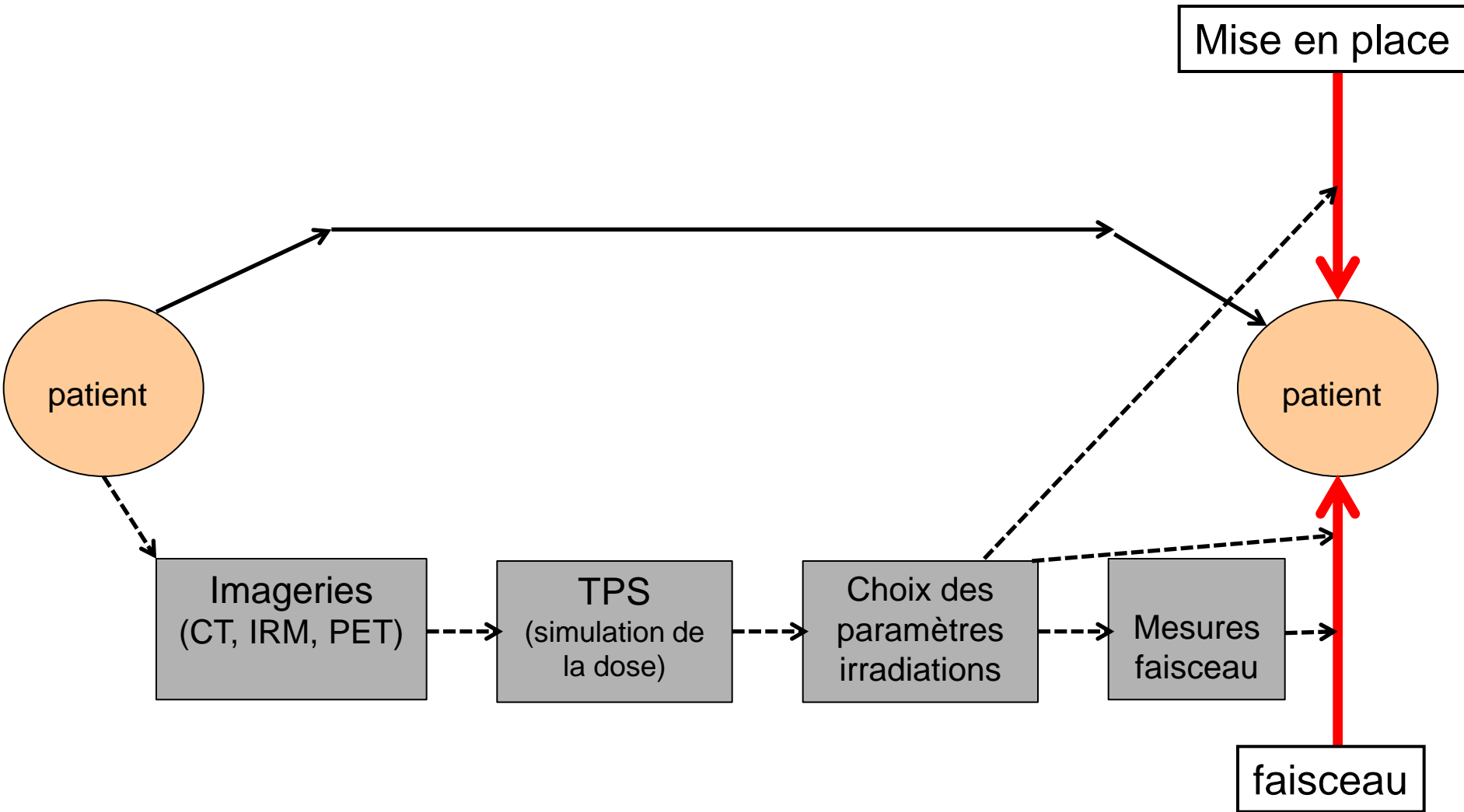
Semaine -2

Semaines - 1

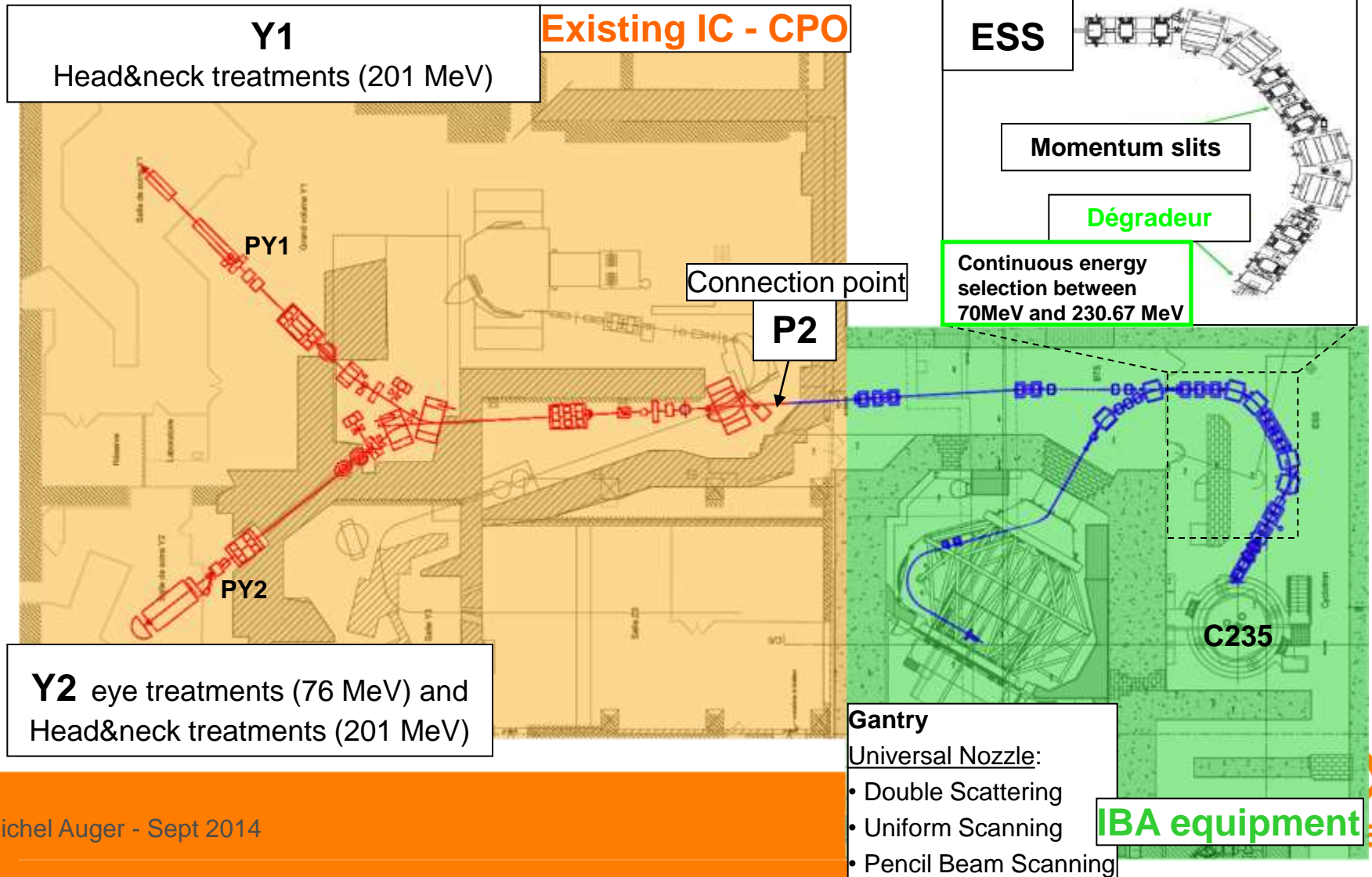
J - 4

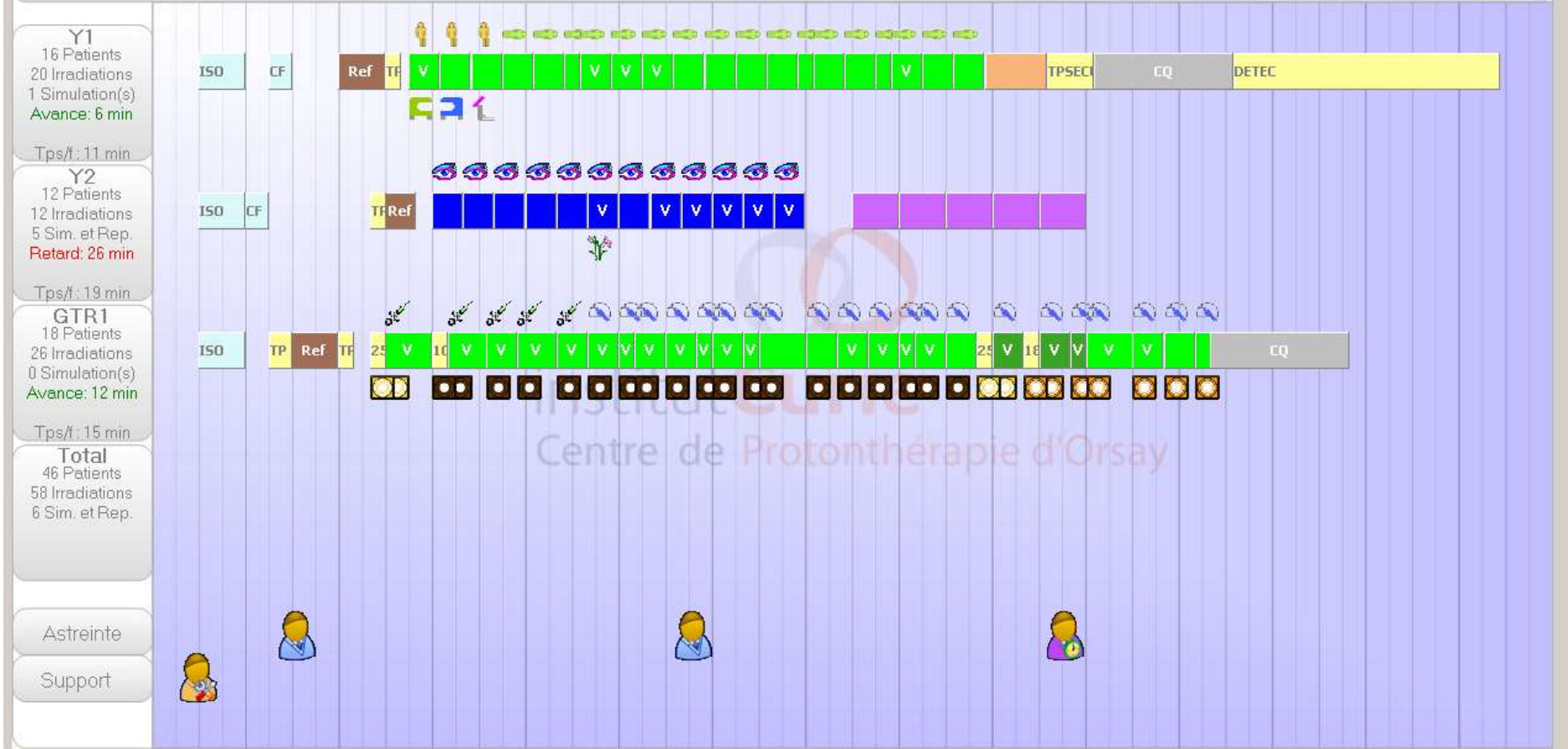
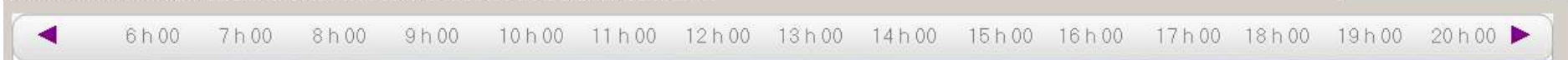
J - 2

7 Semaines



The New centre project





Y1
 16 Patients
 20 Irradiations
 1 Simulation(s)
 Avance: 6 min
 Tps/f: 11 min

Y2
 12 Patients
 12 Irradiations
 5 Sim. et Rep.
 Retard: 26 min
 Tps/f: 19 min

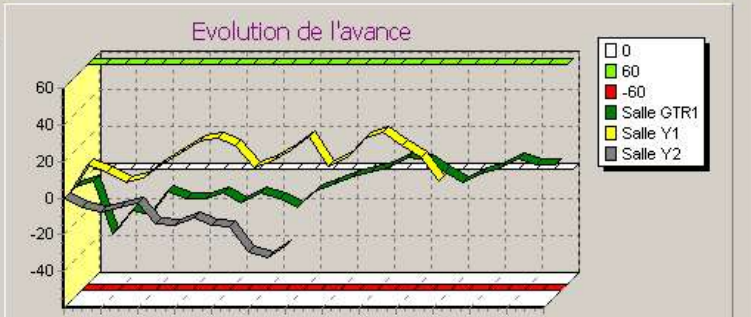
GTR1
 18 Patients
 26 Irradiations
 0 Simulation(s)
 Avance: 12 min
 Tps/f: 15 min

Total
 46 Patients
 58 Irradiations
 6 Sim. et Rep.

Astreinte
 Support

Légende Activité | **Légende Icones**

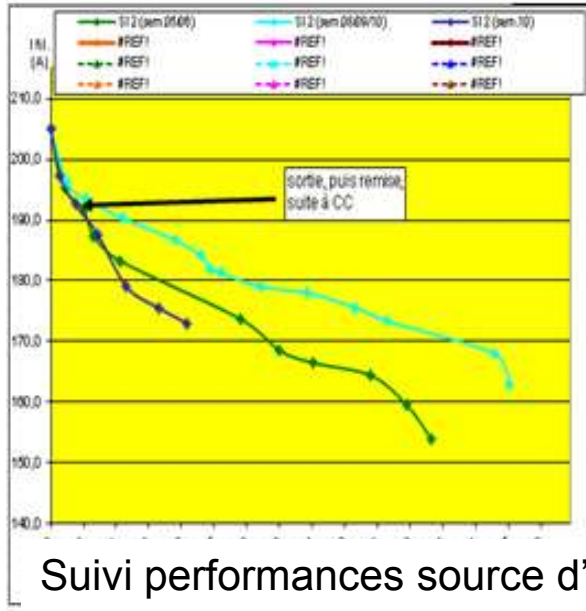
	Traitement Intracranien		Référence		Erreur
	Traitement Rachis		CQ		Traitement partiel
	Traitement Ophtalmo		Manip avec faisceau		Faisceau chargé
	Simulation		Evenement		
	Reperage				



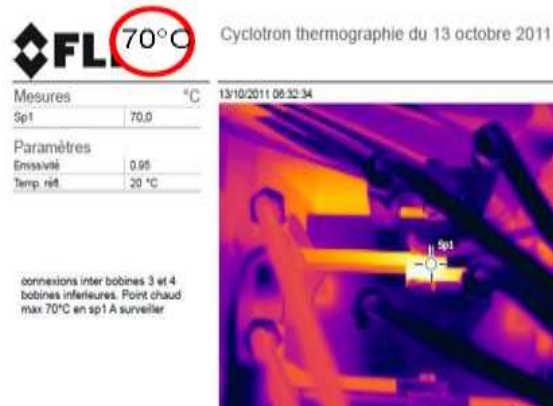
Retour d'expériences



Éléments contribuant à la fiabilité et stabilité du faisceau



Maintenance adaptative sur coupleur RF

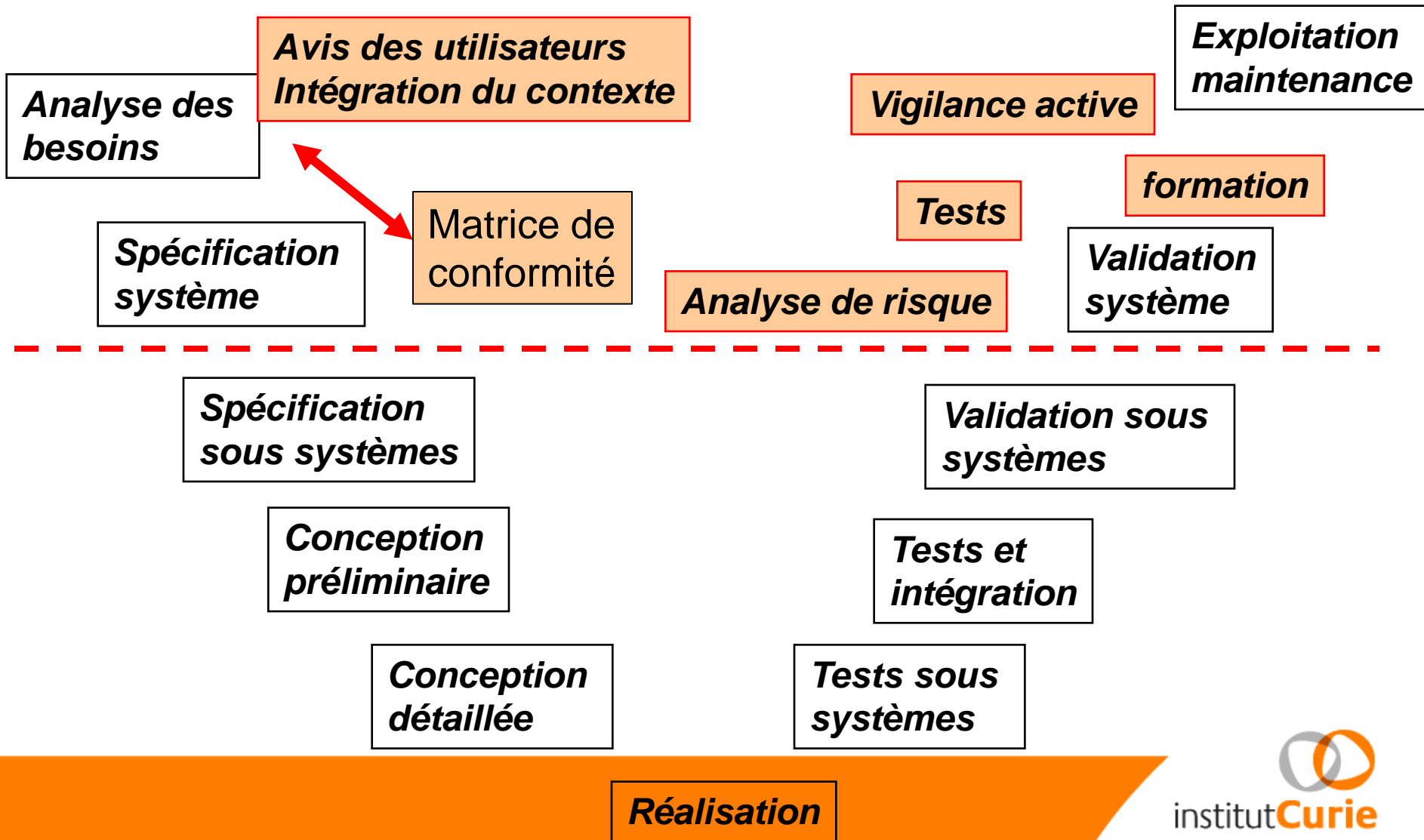


Surveillance thermique

En 2014 (12 mois):

- < 2 jours pannes dus à l'accélérateur
- + 99% de patients traités le jour J
- 51 semaines / an
- Systèmes et organisations

Cycle de développement en V/ dispositif médical

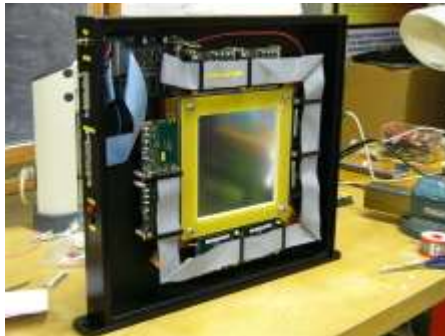


Innovations qui ont « diffusé »

Prototype (dont Orsay)



Industrie – « grand » public

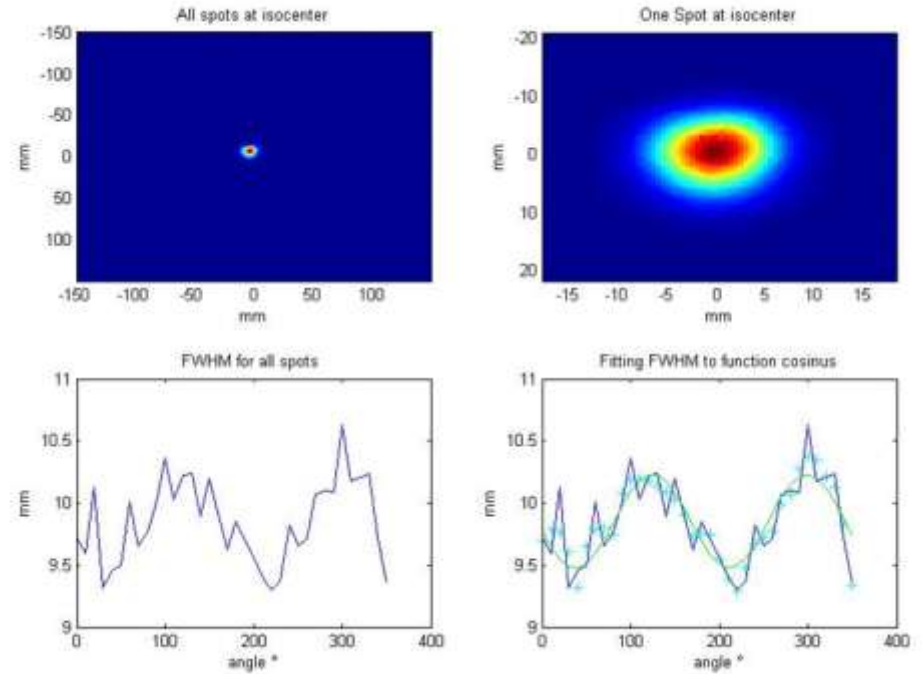


Traitement en journée / Développements & upgrade le soir-la nuit

journée



Soirées-nuits-WE



IBA: JB Ruaud, S. Nacivet et al
CPO: F. Goudjil, A. Patriarca, L. DeMarzi ,
F. Martin, C. Devlackenaere et al

Perspectives



Accélérateurs & Thérapie par particules lourdes chargées

Ère primaire
(1955-1985)

- Utilisation d'installations de recherche
- Activité confidentielle

Ère secondaire
(1985-2015)

- Premiers fournisseurs industriels
- Début d'une activité clinique significative

?

• ?

Accélérateur compact intégré au bras isocentrique

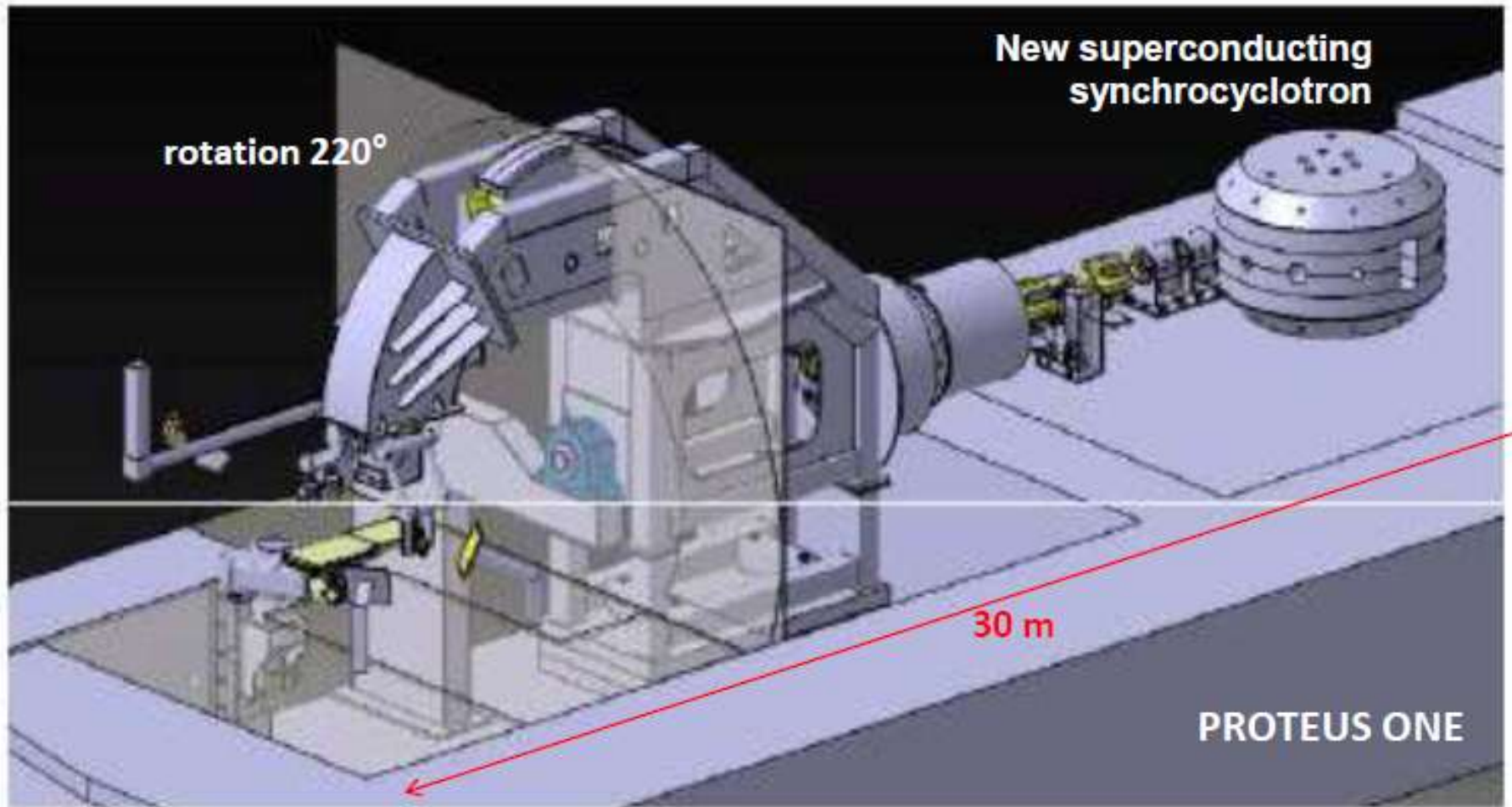


**9 Tesla
superconducting
Synchro-cyclotron**

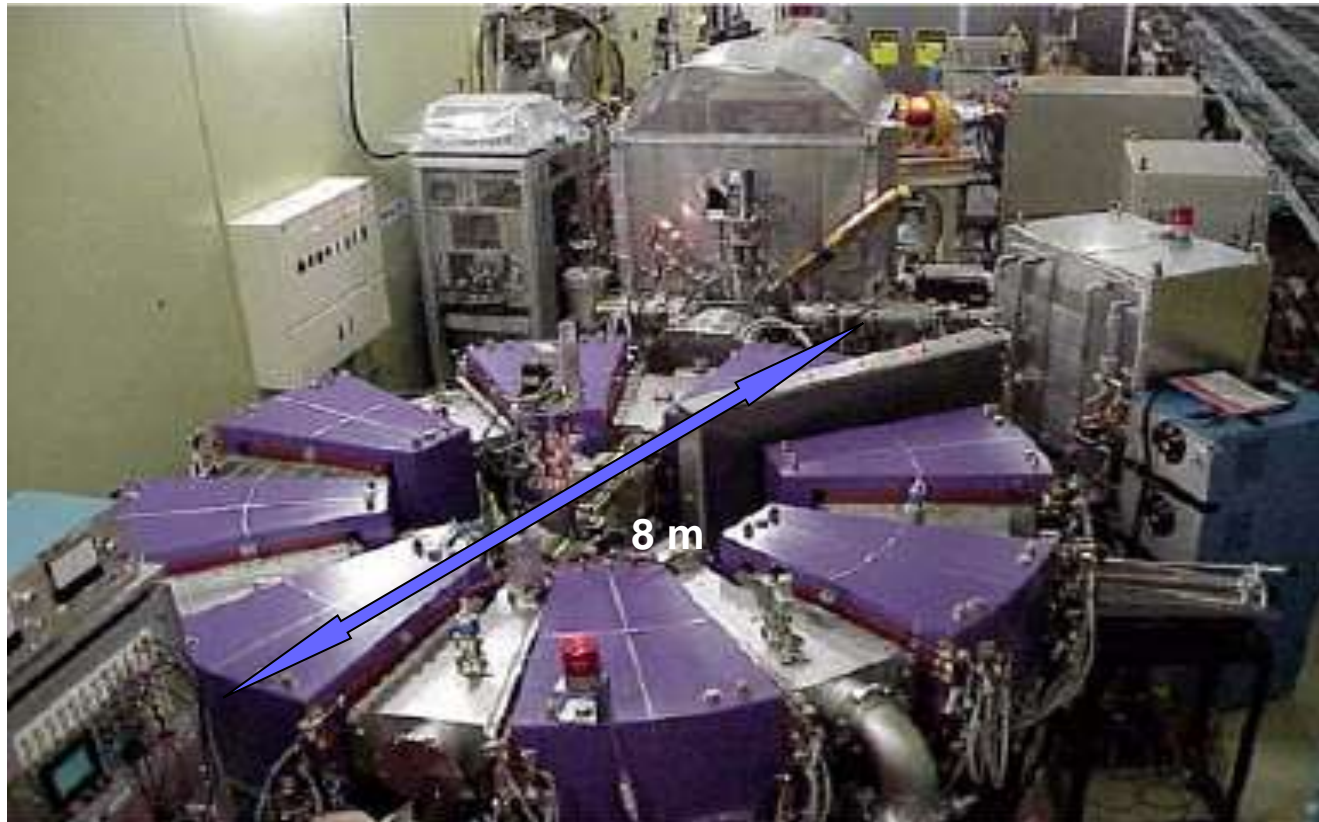


MEVION
medical systems

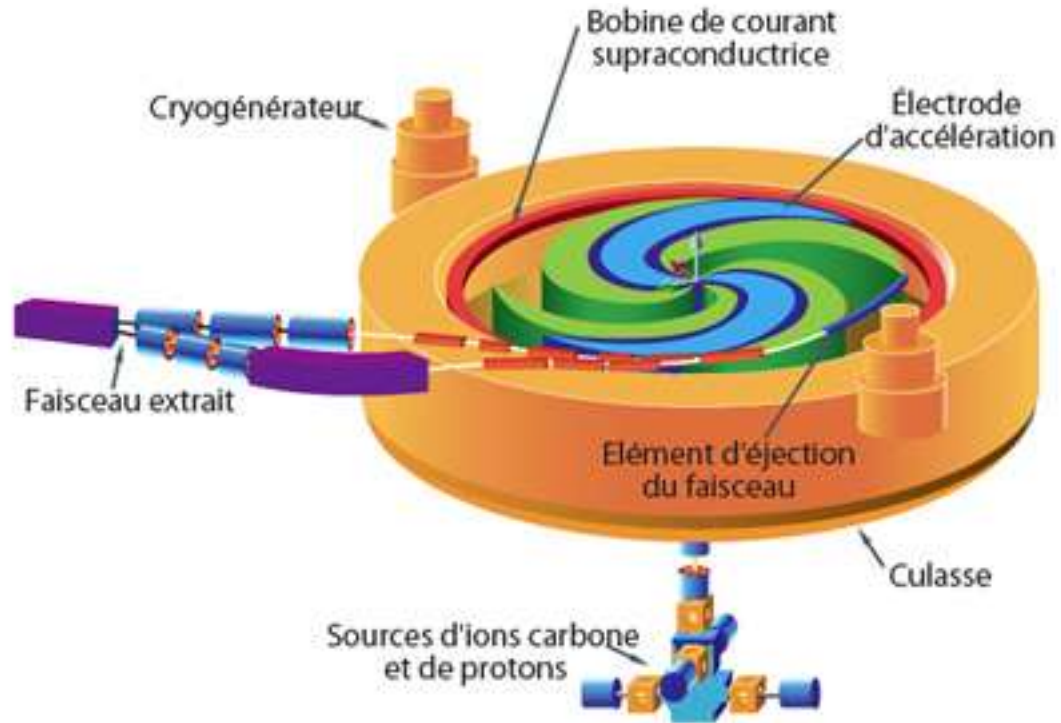
Accélérateur compact + configuration ESS compacte (IBA)



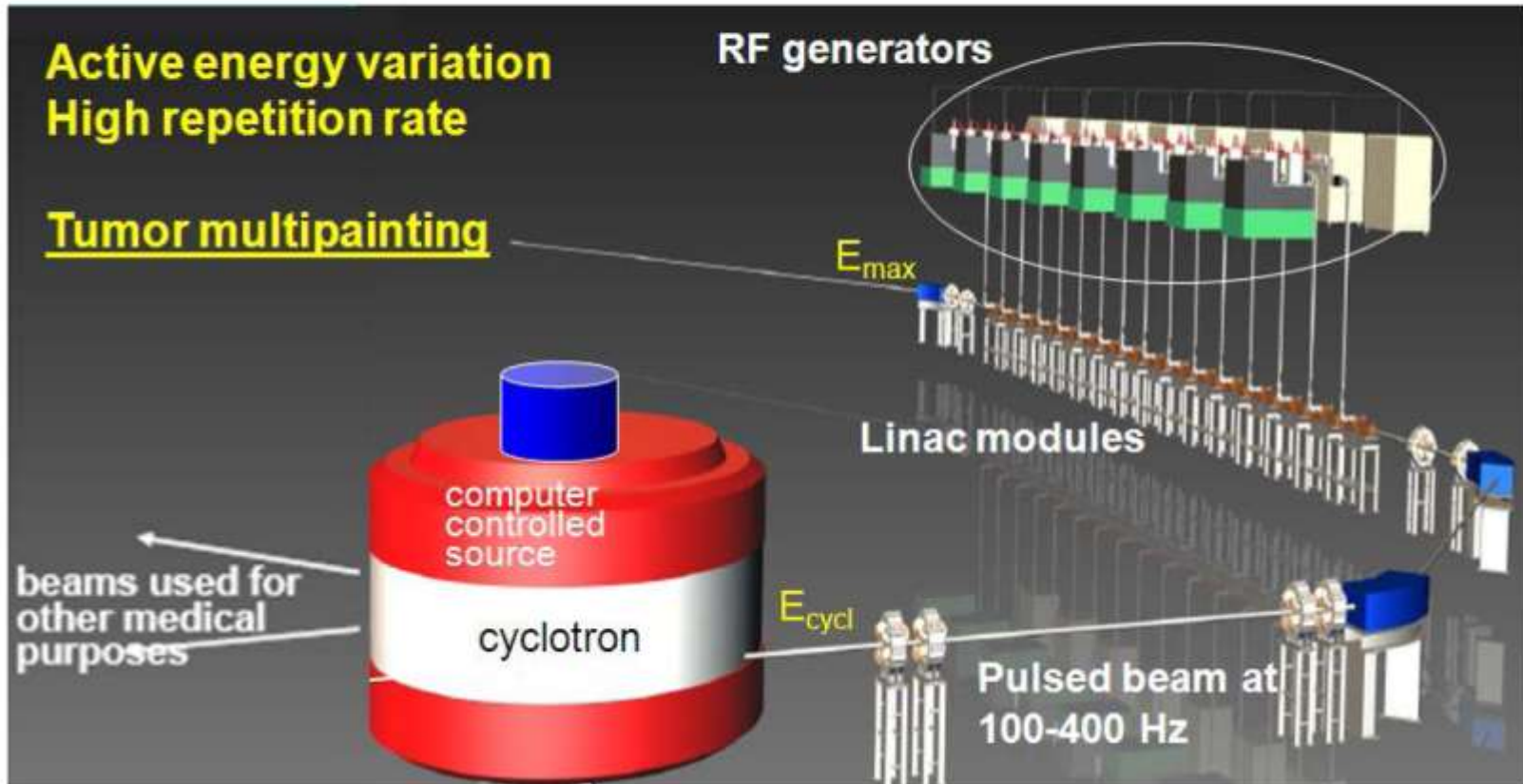
FFAG – Fixed Field Alternating Gradient (mi-cyclotron, mi-synchrotron)



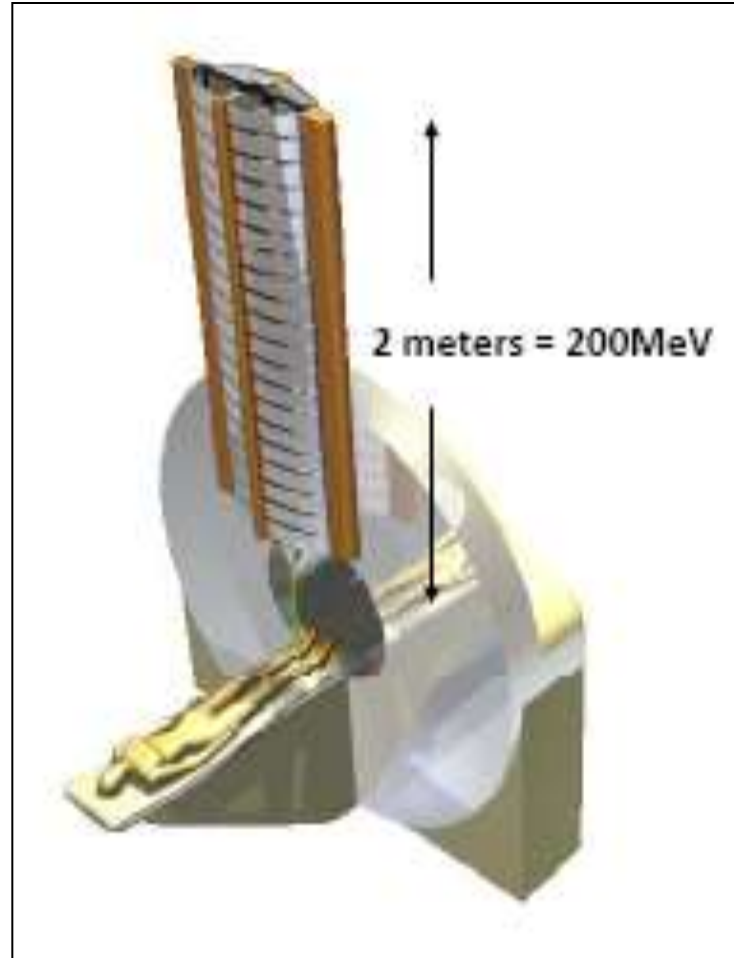
Cyclotron Archade (Protons ou ions carbonés)



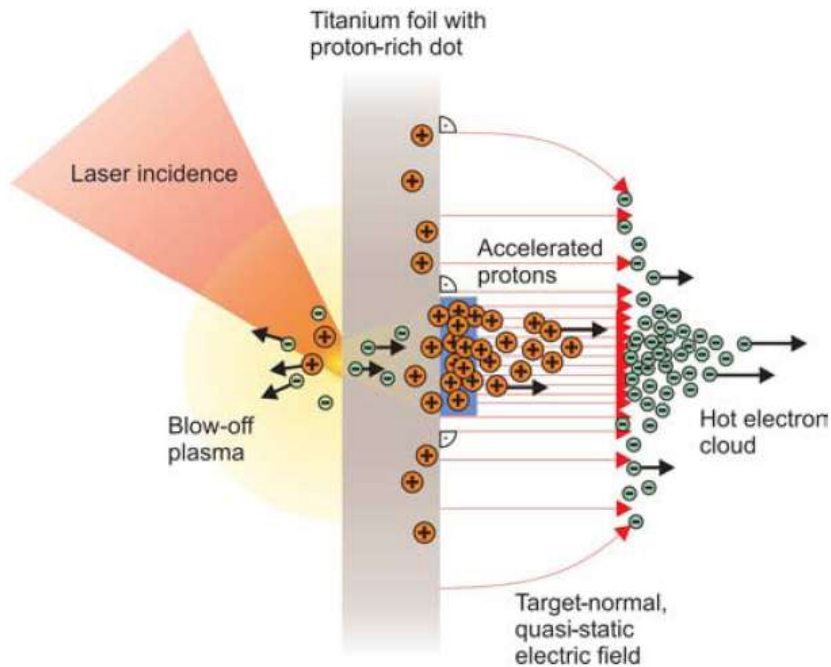
Cyclinac (cyclotron + Linac)



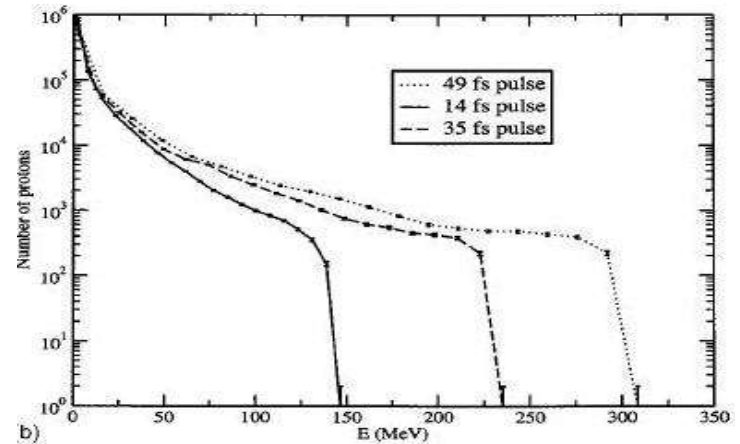
Dielectric Wall Accelerator (PTCA)



Protons générés à partir de lasers intenses



Simulation de spectre



Champs électriques \sim GV/m (au lieu de \sim MV/m)

Perspectives pour la Protonthérapie

- Augmenter l'activité clinique et publier les résultats pour connaître les domaines de légitimité
 - Etre au niveau de l'état de l'art pour l'environnement de traitement (imagerie, adaptatif, logiciels intégrés, ...)
 - Gérer et faire avancer les connaissances sur les questions d'incertitude balistique et biologiques
 - ...
-
- Continuer à favoriser la R&D en radiothérapie
 - Participer à l'élan en cours sur la radiobiologie, la médecine de précision, ...

Perspectives pour le Centre de Protonthérapie

- Continuer l'augmentation d'activité et la diversification des localisations prises en charge
- Migrer vers le Pencil Beam Scanning en salle Gantry
- Assurer la maîtrise technologique d'une installation long-terme
- Assurer les développements physiques et technologiques vitaux (OIS, TPS, études faisceau balayés (thèse en cours), ...)
- Permettre la réalisation de + d'irradiations expérimentales (Radiobiologie, ...). Forte collaboration avec Recherche Curie (projet RadexP)
- Implanter une machine de radiothérapie « classique » ?
- Coopérations et collaborations pour les développements: accélérateurs, faisceau, imagerie&robotique, modélisations, ...

Evolution de l'activité

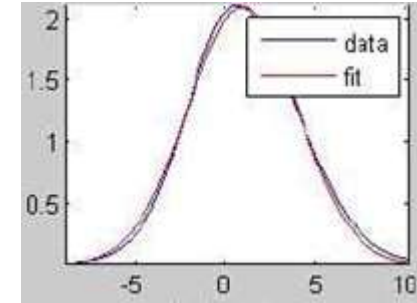
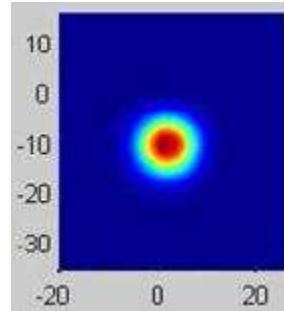
Année	2012	2013	2014	2015	> 2015
Objectifs nb de séances	6000	7000	8000	9 000	> 9000
Nb Séances réalisées	6389	7253	8757	-	-
Nb Pts traités	457	503	558	-	-

PBS = Pencil Beam Scanning

(actuellement en préparation au Centre de Protonthérapie)

Pencil Beam

Spot size from 3 to 8 mm (sigma)



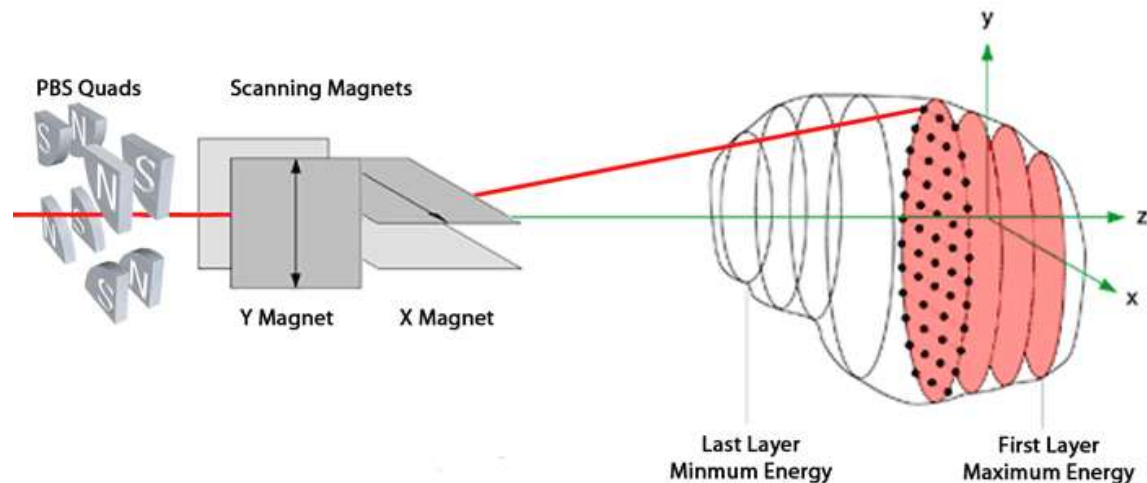
Scanning

Scan in both direction to cover the tumor

1 spot : 2,5 ms min

Transition entre 2 spots : 2 ms

1 litre en moins de 1 minute



Exemple de développements en Robotique et imagerie

2nd treatment room

Couch



Robotic positioner (1994)

- 6 DOF (including pitch & roll)
- Couch, chair or QA water phantom
- Industrial Fanuc design
- Security hardware (speed, acceleration, collision)

Same **ACROPOL** software than 1st room

Currently no work in progress
Some prospects (automatic traj correction)

QA phantom



Chair



2nd treatment room

Problem

1994's robot, unaccuracy up to 7mm for a 90° top rotation

Tracking system (HORUS)

- Receive correction matrix from registration software
- Monitor the robot motion (0.3mm accuracy)
- Display offsets relative to calculated final pos (6DOF)
- Send correction matrix to robot control software

Current Status

- in clinical routine since 2012
- Robot's accuracy using Horus : 0.5 mm et 0.5°
- Project for install in IBA gantry room
- Other use cases...



2nd treatment room

Imaging system

Varian Flat panel sensor

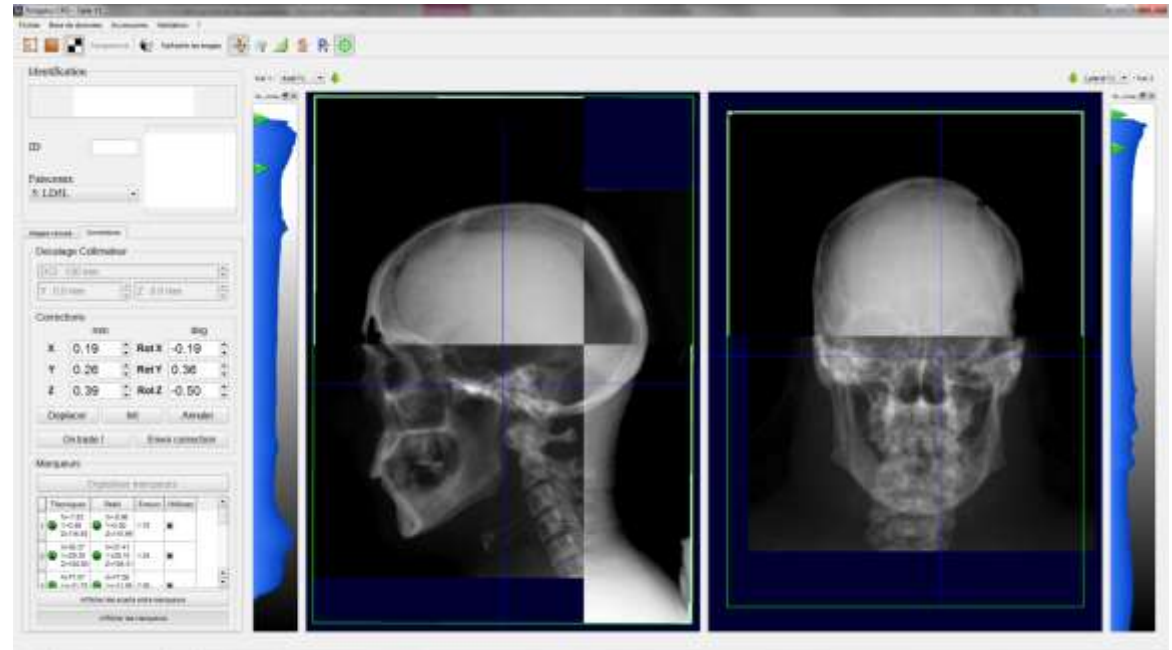
CPO acquisition software (MARS) for:

- Acquisition
- Image processing
- Dicom export

Patient alignment

ROTAPLUS (2001)

- Fiducial markers (6 DOF)
- 3D correction calculation to go
- Correction link to positioner



Current Status

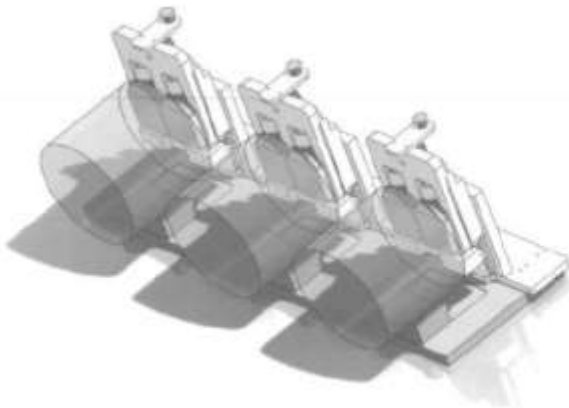
- Manual registration (6 DOF) in finalization (tests by med phys, debugging, documentation)
- Prospects (automatic registration, Eye treatment...)
- Install in 1st room scheduled for H&N

Expériences de Radiobiologie

(Plateforme Radiobiologie- F. Pouzoulet et al)

Expériences réalisées

- ✓ **Début expérimentations** premier semestre 2013 en salle Y1 (201 MeV): collaboration avec le CNRS – centre d’Imagerie et Modélisation en Neurobiologie et Cancérologie (IMNC) – et l’Institut des sciences moléculaires d’Orsay (ISMO)
- ✓ **Projet:** Améliorer les performances de la Protonthérapie avec des **nanoparticules**
- ✓ **Irradiations in vitro et in vivo** à 201 MeV, dose de 0.5 à 10 Gy =>création d'un porte échantillon pour optimiser l'occupation de la salle



Interactions-collaborations (sur le campus)



- **Partages d'expertises**
- **Partages de ressources (physiques, technologiques, ...): (exemple data center)**
- **Appel à Projets communs**
- **- ...**

Voir site WEB sur activités R&D avec correspondants

- **<http://protontherapie.curie.fr/fr/recherche-et-developpement>**

L'équipe du Centre de protonthérapie

- Chef de service : Dr. R Dendale
- 7 Médecins à temps partiels.
- 6 Physiciens médicaux – resp Farid Goudjil
- 1 cadre de santé - H Colella Fleury
- 1 responsable Qualité&Radioprotection – S. Delacroix
- 10 manipulatrices, 3 secrétaires, 1 agent d'accueil
- 5 dosimétristes, 1 technicien de physique
- 15 personnes Equipe technique et d'ingénierie – Resp S. Meyroneinc
- Responsable administratif – C. Rochas : 2 personnes
- Département Radiothérapie: Dr A.Fourquet, A. Mazal

**Total : 51
personnes**

sommaire

La Protonthérapie

Le Centre de Protonthérapie d'Orsay

Rappels historiques

Séquence 2010-1015

Processus de traitement

Retours d'expérience

Perspectives

pour la Protonthérapie

pour le CPO et l'Institut Curie

dans le cadre du Campus

Questions - discussions



MERCI