



Hadronthérapie par faisceaux d'ions légers : le projet ETOILE

Joseph Remillieux

Institut de Physique Nucléaire – Université Claude Bernard Lyon 1

- Intérêt thérapeutique – plan de traitement
- Production et distribution des faisceaux
- Installations : clinique et accélérateurs
- Flux de patients
- Coûts
- Centres existants et en projet
- Collaborations européennes – projets de recherches

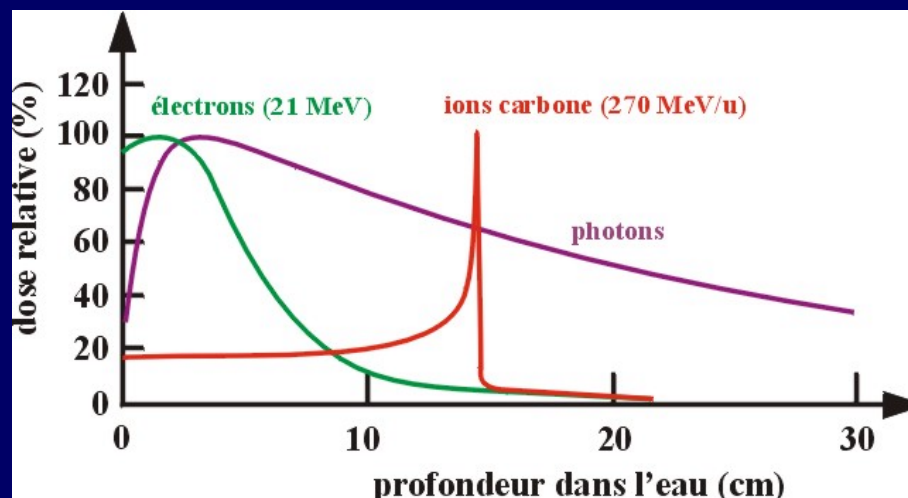


Pourquoi remplacer les photons de la radiothérapie par des faisceaux d'ions ?

Différents modes de dépôts d'énergie

Photons : absorption par effet photoélectrique, diffusion Compton, création de paires

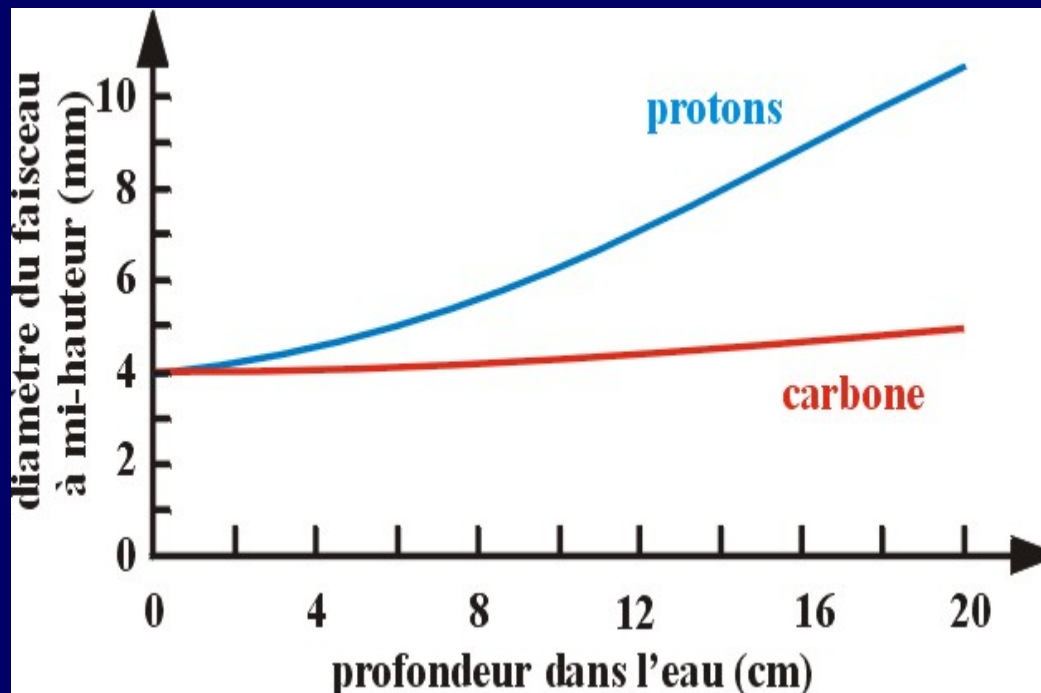
Ions : freinage électronique, pic de Bragg, parcours





Pourquoi en hadronthérapie utiliser des faisceaux d'ions carbone plutôt que des protons ?

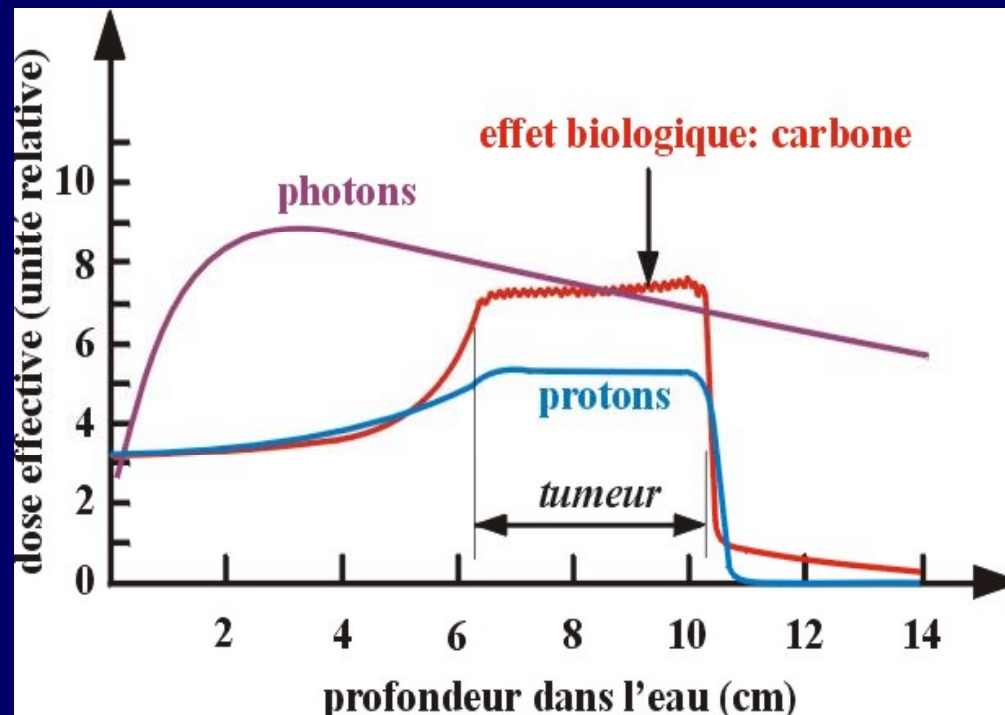
- Diffusion latérale





Pourquoi en hadronthérapie utiliser des faisceaux d'ions carbone plutôt que des protons ?

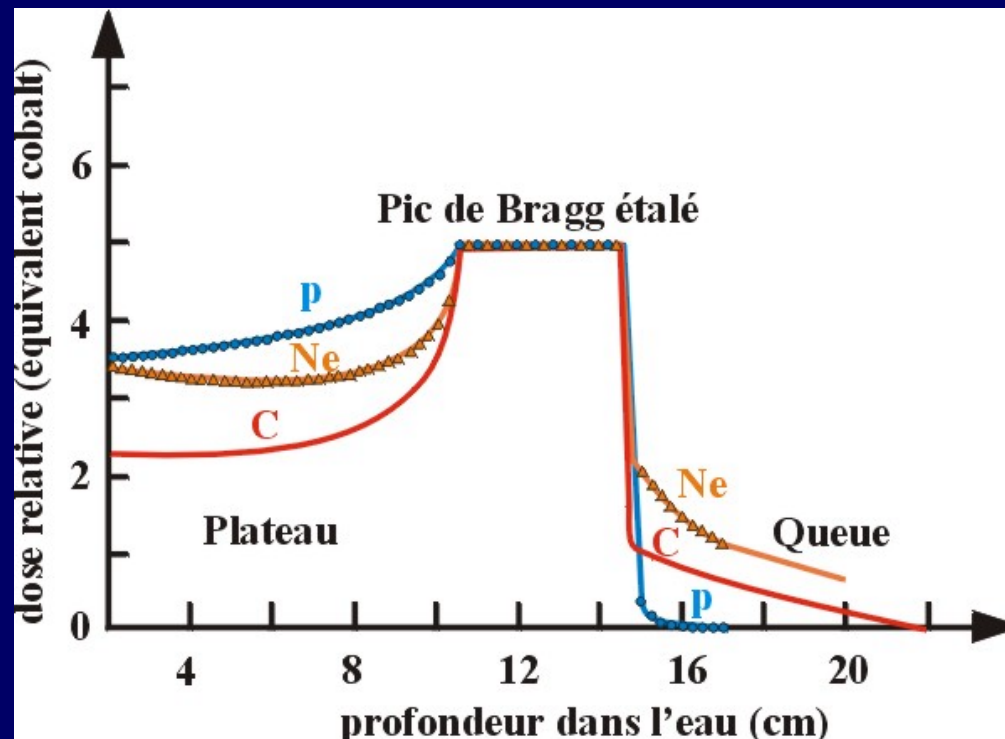
- Effet biologique





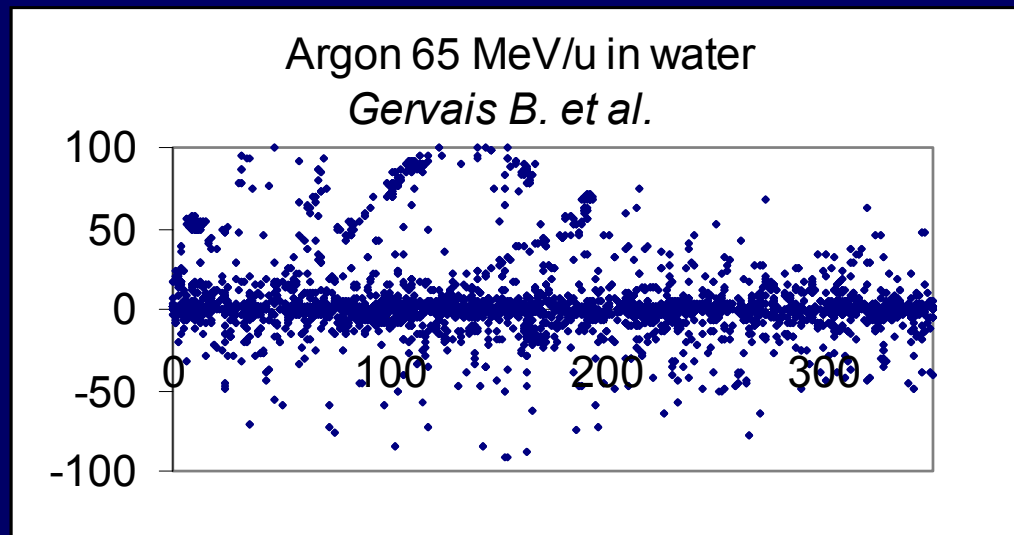
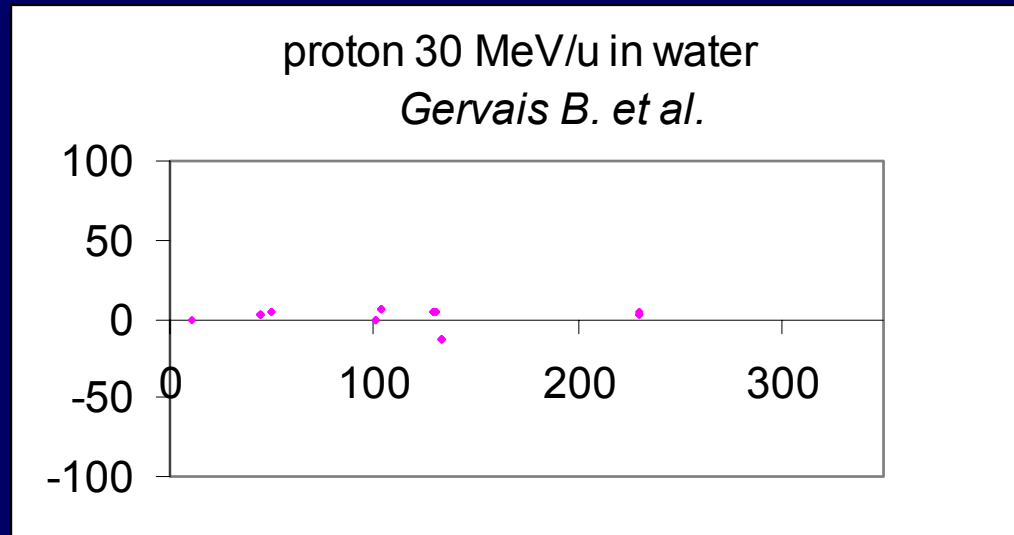
Pourquoi en hadronthérapie utiliser des faisceaux d'ions carbone plutôt que des protons ?

- Fragmentation





Exemples de traces : protons et ions



Echelles en nm



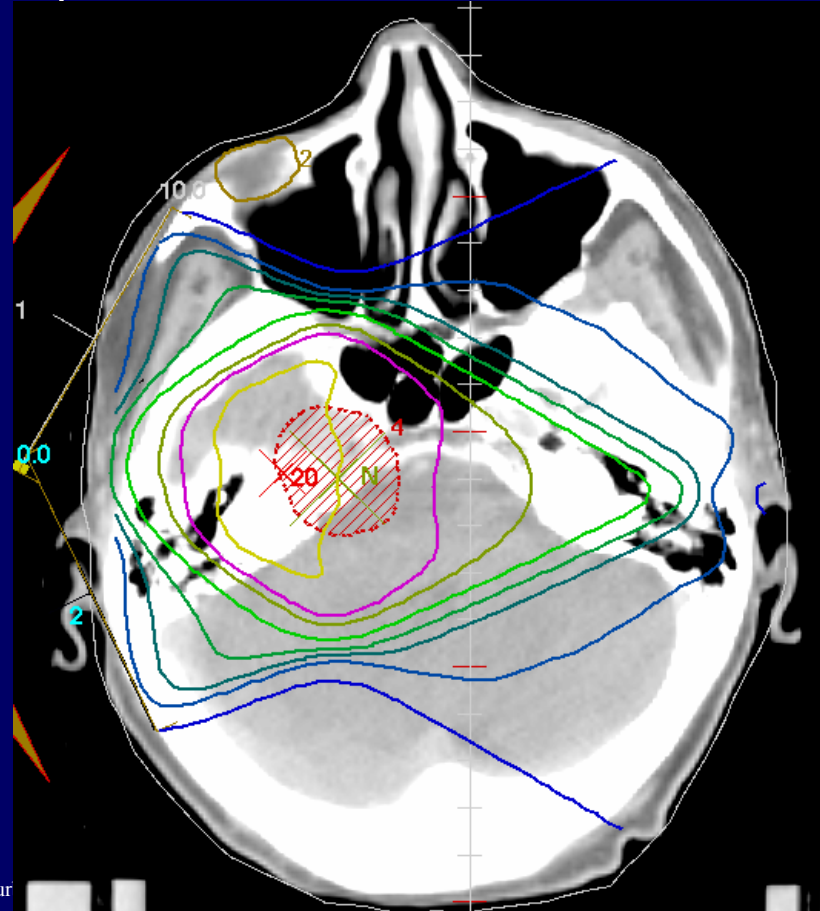
Comment prévoir la distribution de dose dans la tumeur et son environnement ?

• Imagerie (X, RMN, TEP)

- Contourage de la tumeur et des organes sensibles
- Décision médicale : volumes cibles et prescription des doses

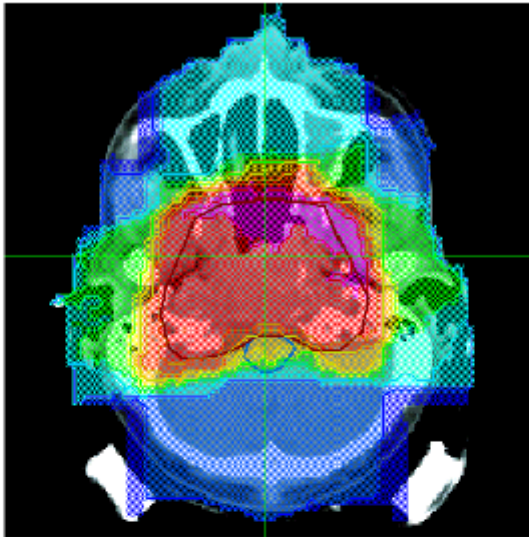
• Plan de traitement

- Détermination des voies d'entrée du faisceau
- Doses dans les volumes élémentaires
- Organes mobiles ou non

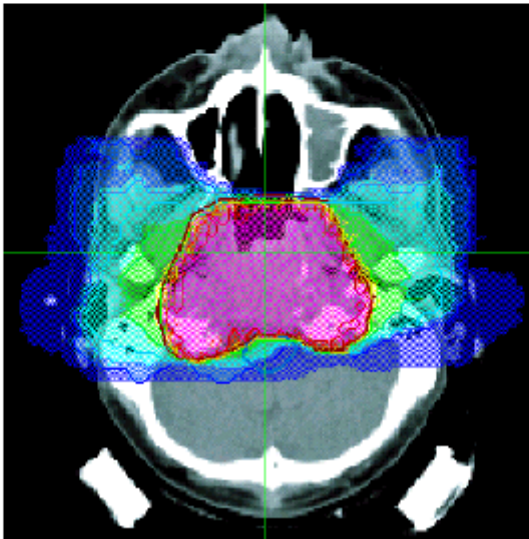




Comparaison de plans de traitement photons/ions carbone



Photons (4 faisceaux)



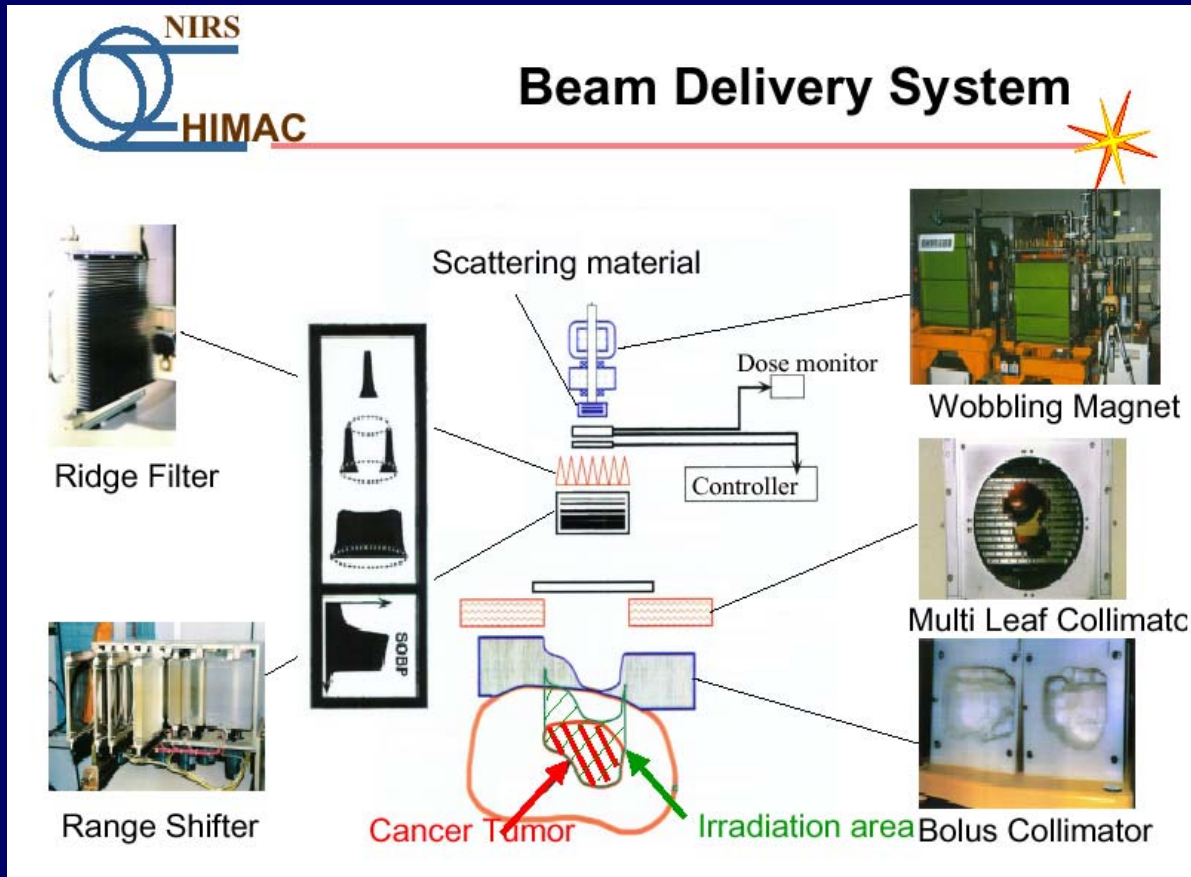
Ions carbone (2 faisceaux opposés)

- bords mieux définis
- tissus sains plus épargnés



Comment réaliser la distribution de dose prescrite ?

Mode passif : dispersion en énergie et en angle du faisceau incident par traversée d'un jeu d'absorbeurs d'épaisseurs inhomogènes et de collimateurs

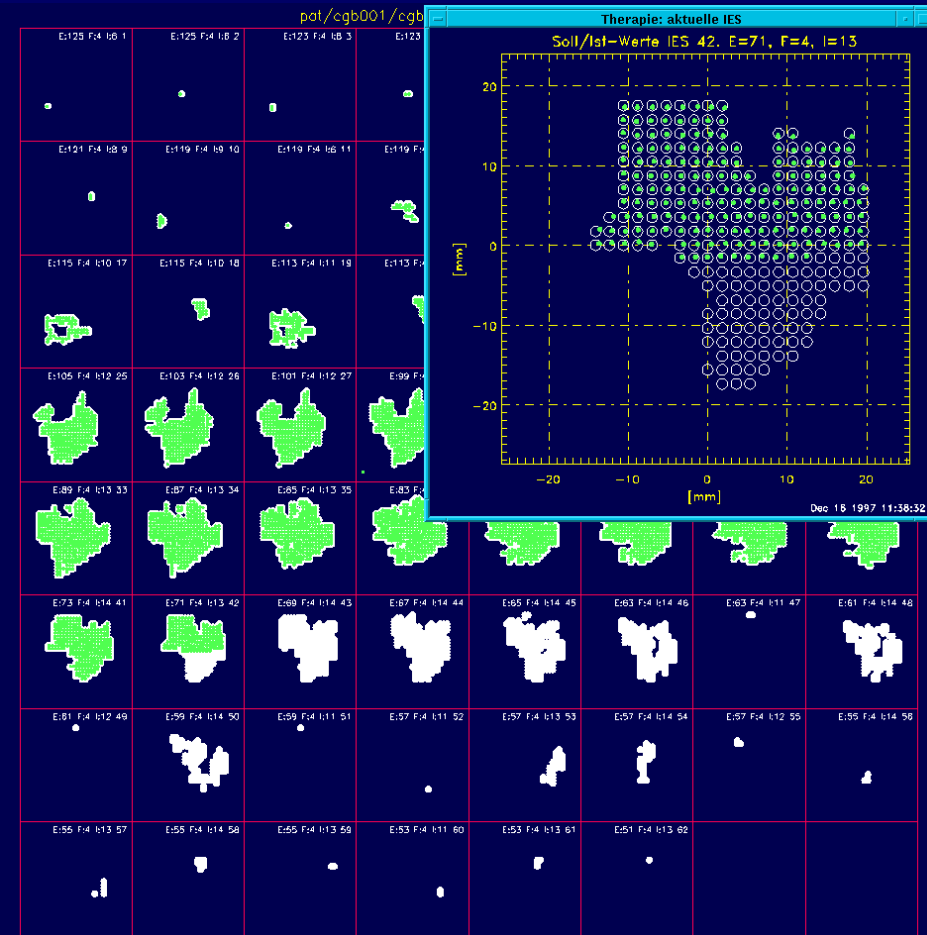
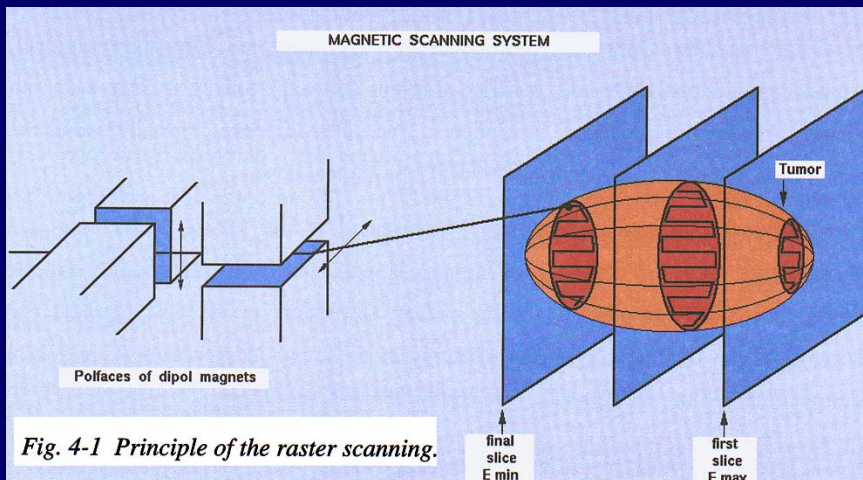


Comment réaliser la distribution de dose prescrite ?

Mode actif (GSI)

excursion en profondeur : plan par plan (= énergie par énergie) avec modulation de l'intensité d'un "faisceau pinceau"

balayage latéral : voxel par voxel dans chaque plan

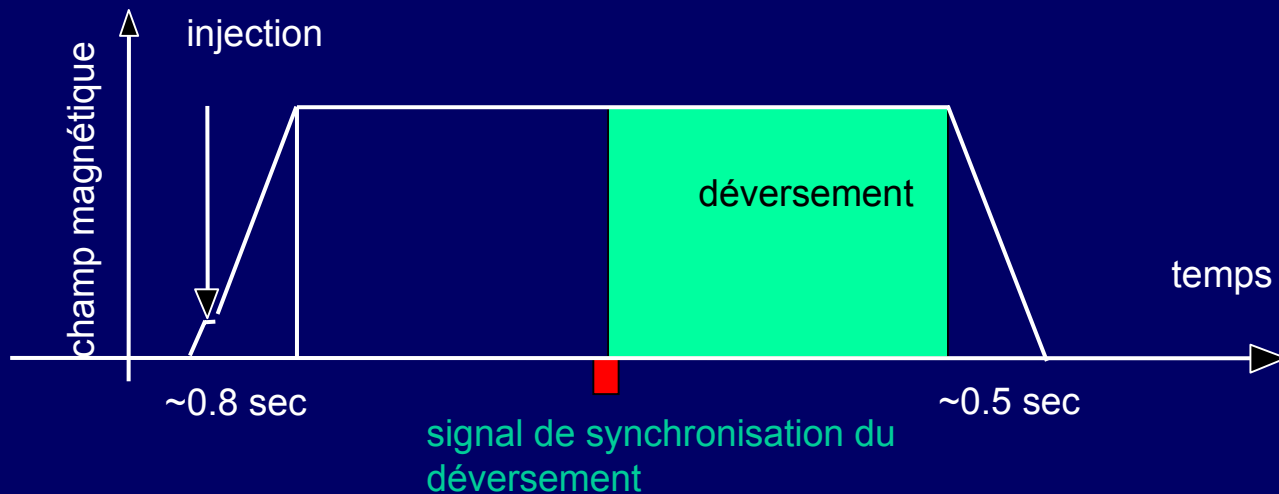




Quel type d'accélérateur utiliser ?

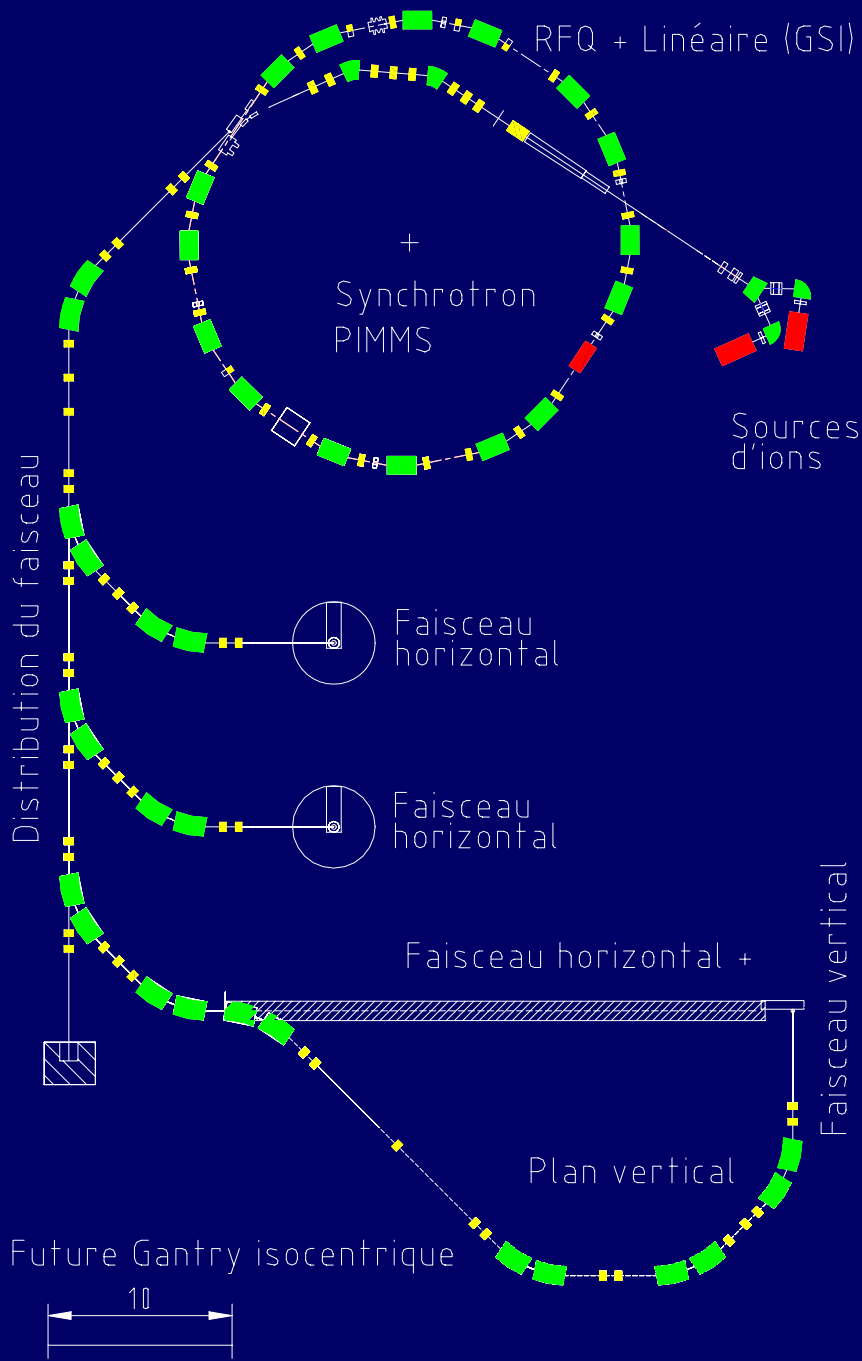
Il faut une machine

- dont l'énergie puisse être changée en moins d'une seconde
- capable de produire des paquets de particules
 - longs (10 sec pour synchronisation respiratoire et cardiaque)
 - homogènes



Source d'ions → préaccélération (linac) → synchrotron

Le synchrotron et les voies de faisceau



Sources d'ions : deux de type ECR

Préaccélération : RFQ+Linac

à 7 MeV/nucléon

Epluchage des ions : exemple C^{4+} en C^{6+}

Accélération : synchrotron de diamètre 24 m

400 MeV/A

Distribution des voies de faisceau :

en arête de poisson

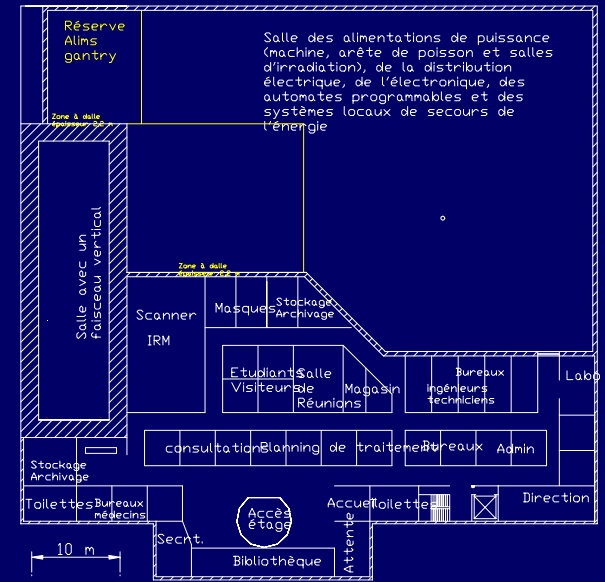
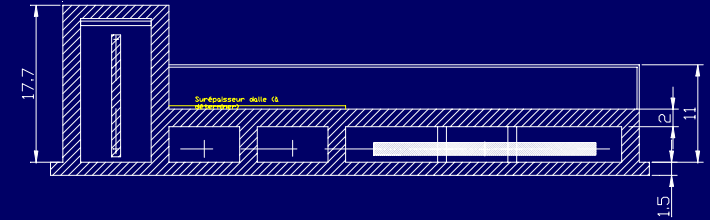
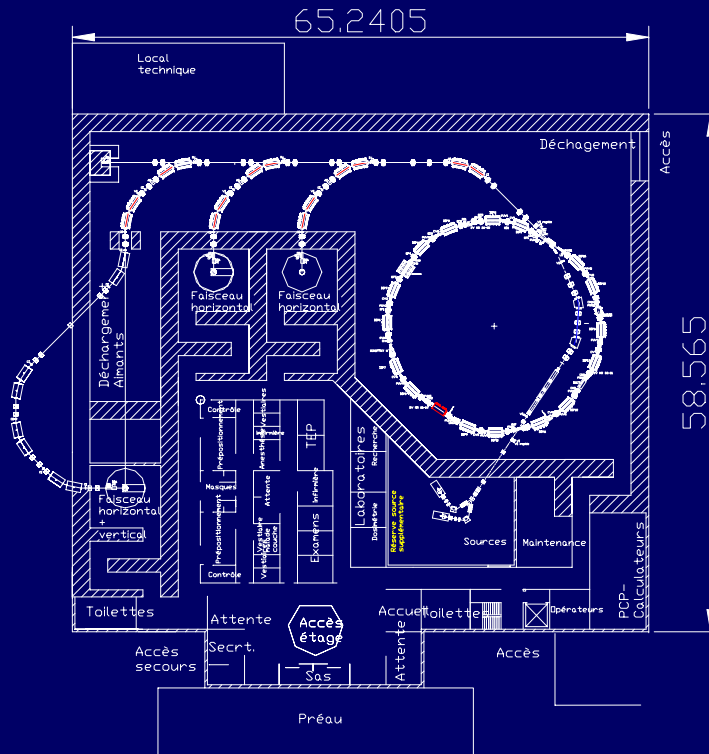
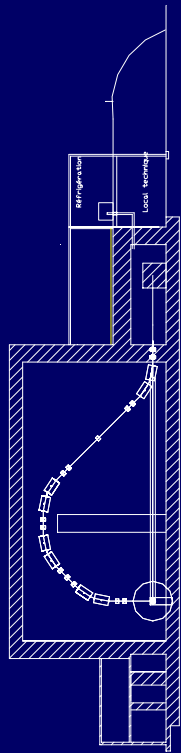
3 salles spécifiques

Extensions possibles



Quel type de bâtiment ?

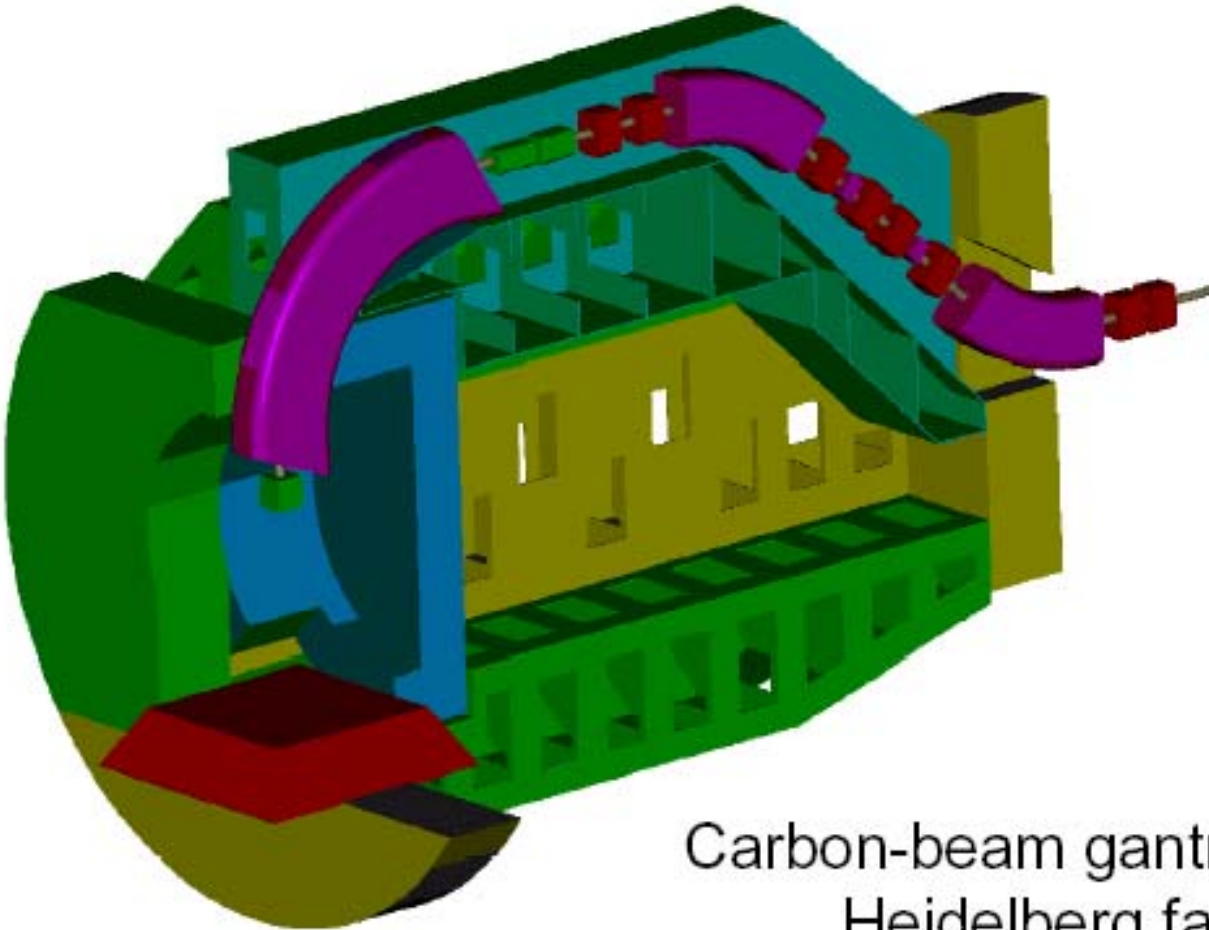
Il faut intégrer un accélérateur dans un espace clinique



Projet Hadronthérapie niveau étage MB le 9-10-2001



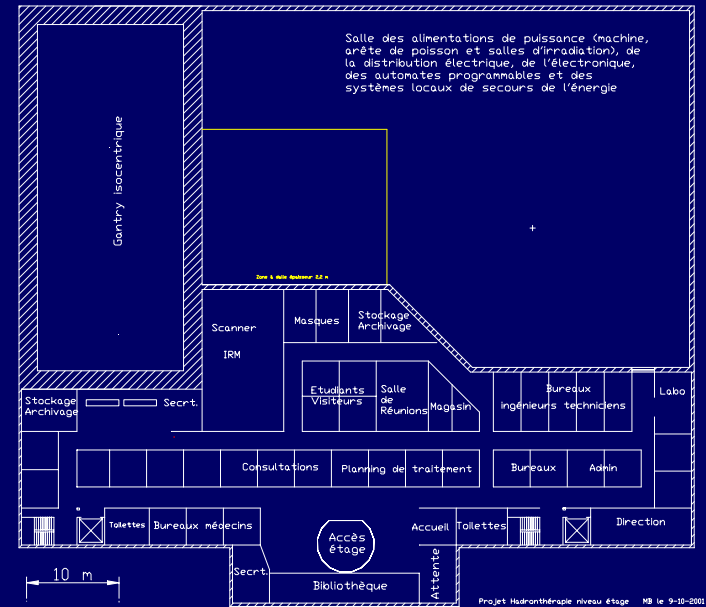
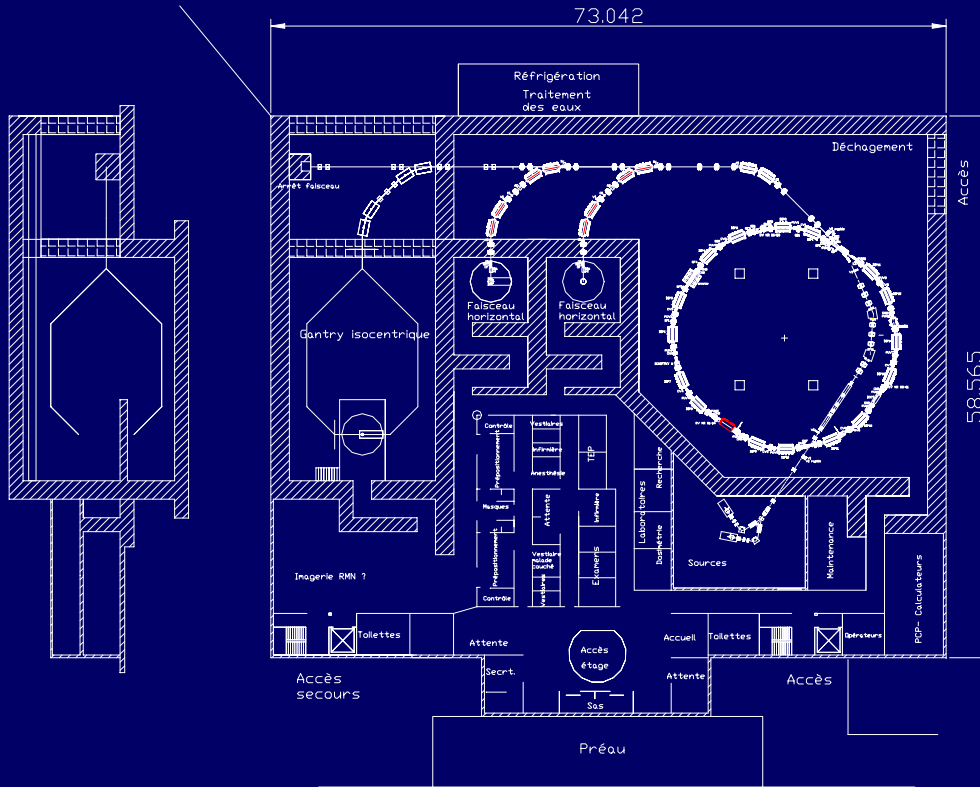
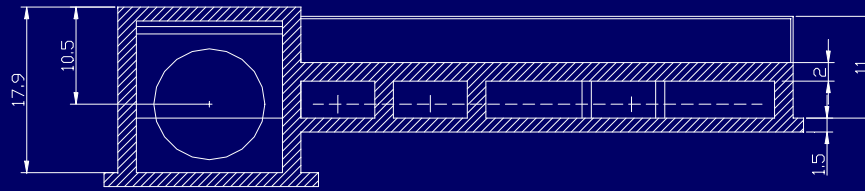
Salle avec faisceau rotatif ?



Carbon-beam gantry concept
Heidelberg facility



Salle avec faisceau rotatif ?



Projet Hadronthérapie niveau étage MB le 9-10-2001



Quels sont les facteurs de QUALITE de l'irradiation ?

Conformité de la dose déposée aux prévisions du plan de traitement

- Mesure en ligne du nombre d'ions injectés pour chaque direction incidente
- Imagerie et dosimétrie TEP en ligne
- Positionnement du patient (GSI)

Fiabilité de l'installation

- disponibilité prévue de 97 %
- temps de réparation des pannes courantes inférieur à 1 h





Quel flux de patients ?

• Indications cliniques

Radorésistantes

Tumeurs loco-régionales

Inopérables

• Nombre par an

3 salles de traitement = 15 000 séances de 30 mn

15 séances en moyenne par patient

→ 1 000 patients

• Origine

300 région Rhône-Alpes

600 autres régions Françaises

100 étranger



Coûts et délais ?

• Investissement

80-90 M€ selon option (gantry ou non)

• Coût d'exploitation annuel

12-14 M€

soit un coût moyen du traitement par patient de 12-14 k€

• Programmation

début 2002 : publication de l'avant-projet

2 ans d'études détaillées

2 ans de réalisation

3 ans de montée en charge pour atteindre 1 000 patients/an



Quels partenaires ?

- **Porteur du projet** : Université Claude Bernard Lyon 1
- **Partenaires hospitaliers** :
CHU de Lyon et Grenoble
Centre Léon Bérard
- **Partenaires scientifiques** :
CNRS/IN2P3, CEA, CERN,
TERA, GSI

Ont participé au financement des premières études :

Région Rhône-Alpes

Ministère de la Recherche (Contrat de plan Etat-Région)

Grand Lyon

ANVAR



Quelles autres installations ?

- Installations expérimentales : Chiba (Japon)
GSI (Allemagne)
- Installation clinique dédiée : Hyogo (Japon)

Quels autres projets ?

- Heidelberg : en cours de réalisation
- Lyon : ETOILE
- Milan
- Stockholm
- Vienne



Coordination européenne des recherches

- Au sein du réseau européen **ENLIGHT** (5^{ème} PCRDT)
- Poursuite prévue dans le cadre d'un Projet Intégré **RELIGHT** du 6^{ème} PCRDT

Programmes de recherches menées par le groupe Rhône-alpin ETOILE

- Effets physiques et biologiques des traces d'ions lourds dans la matière vivante
- Plan de traitement des tumeurs mobiles
- Econométrie du traitement du cancer par hadronthérapie