



XXIII<sup>ème</sup> Congrès Général de la SFP

# Développements d'instruments de dosimétrie pour la radiothérapie

Samuel Salvador

Groupe Applications Médicales et Industrielles

Laboratoire de Physique Corpusculaire de Caen

*ENSICAEN, Université de Caen, CNRS/IN2P3, Caen, France*

26 août 2015



# Le contexte de la hadronthérapie

---

## Stérilisation d'une tumeur (~50-60 Gy)

- ▶ Inopérable,
- ▶ Radiorésistante (aux méthodes conventionnelles),
- ▶ Conservation des tissus sains à court et long termes

## Délivrance d'une dose par un accélérateur (cyclo- ou synchrotron)

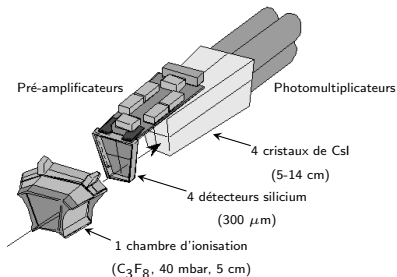
- ▶ Connaissance de la géométrie tumorale en 3D,
- ▶ Différentes méthodes d'irradiation (passive scattering, pencil beam scanning...),
- ▶ Planification logiciel du traitement

## Quelle est l'assurance de la dose déposée et de sa qualité ?

- ▶ Besoins en instruments de monitoring du faisceau

# L'apport de la physique nucléaire instrumentale

## Détection des particules chargées : l'exemple d'INDRA



- ▶ Faisceaux d'ions lourds (Xe, Ni, Au...),
- ▶ Cibles lourdes (Sn, Au, Kr...),
- ▶ Énergies intermédiaires (10—250 MeV/n),
- ▶ Fragments du proton aux noyaux du faisceau

## Transfert de compétences en vue de l'adaptation au milieu clinique

- ▶ Collaboration avec l'industriel IBA : chambre d'ionisation IC2/3

# La dose dans une chambre d'ionisation

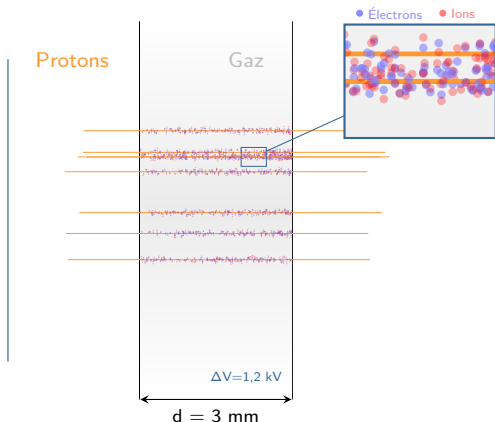
## Les grandeurs physique

- ▶ Le transfert d'énergie linéique (TEL) dans le milieu [ $\text{keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ],
- ▶ La densité du milieu ( $\rho$ ) [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ],
- ▶ Le flux (fluence,  $\Phi$ ) de particules [ $\text{mm}^{-2}$ ]

La Dose physique [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] :

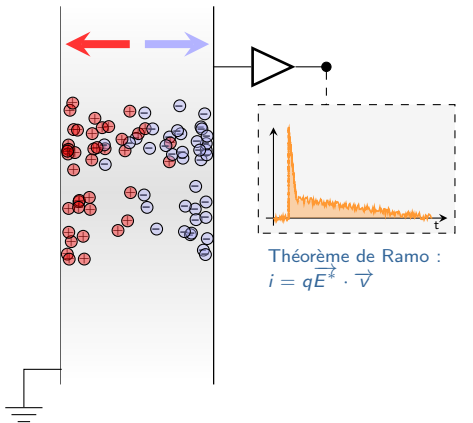
$$D = 1,602 \times 10^{-7} \frac{\text{TEL} \times \Phi}{\rho}$$

## Création des charges



# La dose dans une chambre d'ionisation

## Dérive des charges



Ce que l'on peut mesurer :

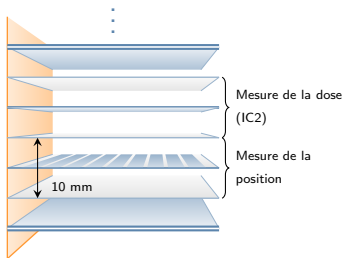
$$Q_{Chlo} = 1,602 \times 10^{-10} \times d \times \frac{TEL_{Chlo} \times \Phi}{W_{gaz}}$$

↓

$$D = 10^3 \times Q_{Chlo} \times \frac{TEL}{TEL_{Chlo}} \times \frac{W_{gaz}}{d \times \rho}$$

# La chambre d'ionisation redondante IC2/3

## Monitoring du faisceau de protons sur les têtes d'irradiation IBA



- ▶ Robustesse : air à pression atmosphérique,
- ▶ 2 chambres quasi-identiques : IC2 et IC3,
- ▶ Redondance de la mesure de dose (mesure intégrale),
- ▶ Mesures de la position  $x$  et  $y$  indépendantes,
- ▶ Une mesure toutes les  $500 \mu\text{s}$

## Les contraintes de l'environnement médical

- ▶ Mesure de la dose à 1 %,
- ▶ Résolution spatiale de  $20 \mu\text{m}$  ( $\sigma$ ),
- ▶ Épaisseur équivalent-eau de  $187 \mu\text{m}$

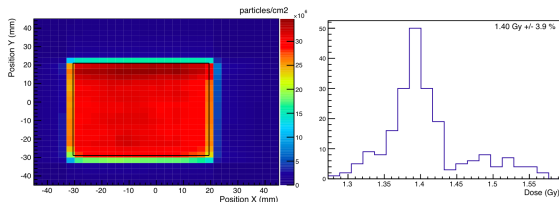
Thèse de C. Courtois, LPC Caen, 2011



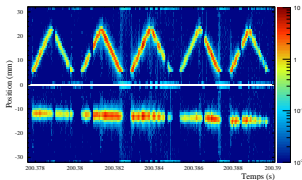
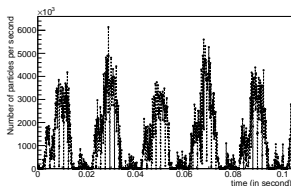
# Une évolution pour la radiobiologie : DOSION

## Une version adaptée à la recherche sur les ions carbone

- ▶ Pas de redondance sur la dose,
- ▶ Électronique mise à jour,
- ▶ 2 modes d'intégration (40  $\mu$ s et 2,4 ms),
- ▶ Profil de fluence et distribution de dose



## Connaissance des caractéristiques du faisceau



- ▶ Intensité et position du faisceau en fonction du temps

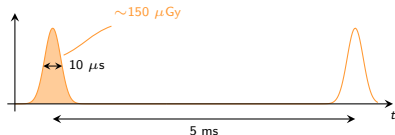
Thèse de G. Boissonnat, LPC Caen, 2015

# La problématique des hautes intensités faisceau

## Le contexte clinique

- ▶ Des doses de plus en plus forte sur des temps plus courts ( $> 1$  kGy/s.),

### Radiothérapie

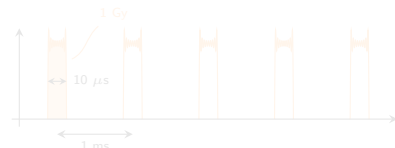


Au-delà de  $10^6$  protons par occurrence faisceau



- ▶ Effets de charges d'espace,
- ▶ Modification du champ électrique,
- ▶ Vitesses de dérive modifiées,
- ▶ Efficacité de collection dégradée

### Hadronthérapie (S2C2)



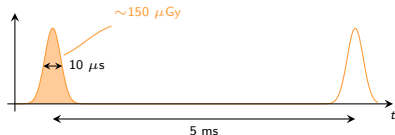


# La problématique des hautes intensités faisceau

## Le contexte clinique

- ▶ Des doses de plus en plus forte sur des temps plus courts ( $> 1 \text{ kGy/s.}$ ),

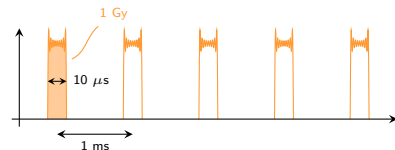
### Radiothérapie



Au-delà de  $10^6$  protons par occurrence faisceau



### Hadronthérapie (S2C2)



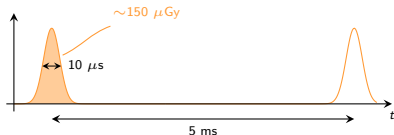
- ▶ Effets de charges d'espace,
- ▶ Modification du champ électrique,
- ▶ Vitesses de dérive modifiées,
- ▶ Efficacité de collection dégradée

# La problématique des hautes intensités faisceau

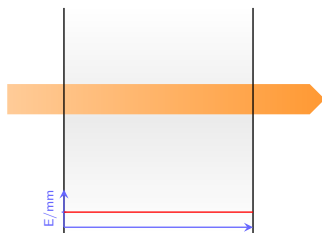
## Le contexte clinique

- ▶ Des doses de plus en plus forte sur des temps plus courts ( $> 1 \text{ kGy/s.}$ ),

### Radiothérapie

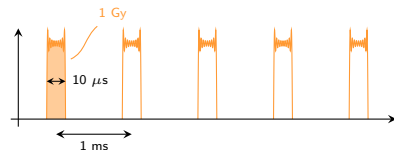


Au-delà de  $10^6$  protons par occurrence faisceau



- ▶ Effets de charges d'espace,
- ▶ Modification du champ électrique,
- ▶ Vitesses de dérive modifiées,
- ▶ Efficacité de collection dégradée

### Hadronthérapie (S2C2)

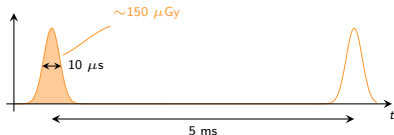


# La problématique des hautes intensités faisceau

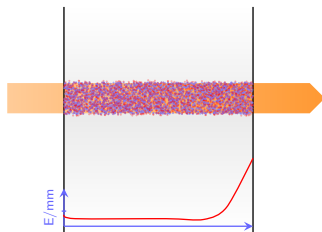
## Le contexte clinique

- ▶ Des doses de plus en plus forte sur des temps plus courts ( $> 1 \text{ kGy/s.}$ ),

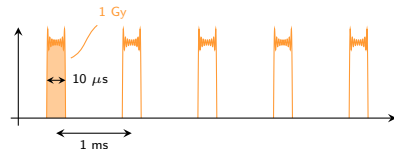
### Radiothérapie



Au-delà de  $10^6$  protons par occurrence faisceau



### Hadronthérapie (S2C2)



- ▶ Effets de charges d'espace,
- ▶ Modification du champ électrique,
- ▶ Vitesses de dérive modifiées,
- ▶ Efficacité de collection dégradée

# État actuel des développements

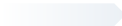
## Jusqu'à présent :

- ▶ DOSION (carbones < 100 MeV/n)  Développements effectués au GANIL
- ▶ IC2/3 (protons  $\rightarrow$  230 MeV)  Tests sur les cyclotrons IBA

## À l'avenir :

- ▶ Très hautes intensités  Quelles installations ?
- ▶ Ions différents des protons

## En France :

- ▶ Orsay (CPO), Nice (CAL)  Centres de thérapie proton

## En Europe :

- ▶ Darmstadt (GSI), Heidelberg (HIT),  
Pavie (CNAO), Wiener Neustadt (MedAustron)  Centres de recherche/thérapie carbone

# État actuel des développements

## Jusqu'à présent :

- ▶ DOSION (carbones < 100 MeV/n)  Développements effectués au GANIL
- ▶ IC2/3 (protons  $\rightarrow$  230 MeV)  Tests sur les cyclotrons IBA

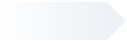
## À l'avenir :

- ▶ Très hautes intensités  Quelles installations ?
- ▶ Ions différents des protons

## En France :

- ▶ Orsay (CPO), Nice (CAL)  Centres de thérapie proton

## En Europe :

- ▶ Darmstadt (GSI), Heidelberg (HIT),  
Pavie (CNAO), Wiener Neustadt (MedAustron)  Centres de recherche/thérapie  
carbone

# État actuel des développements

## Jusqu'à présent :

- ▶ DOSION (carbones < 100 MeV/n)  Développements effectués au GANIL
- ▶ IC2/3 (protons  $\rightarrow$  230 MeV)  Tests sur les cyclotrons IBA


## À l'avenir :

- ▶ Très hautes intensités  Quelles installations ?
- ▶ Ions différents des protons

## En France :

- ▶ Orsay (CPO), Nice (CAL)  Centres de thérapie proton

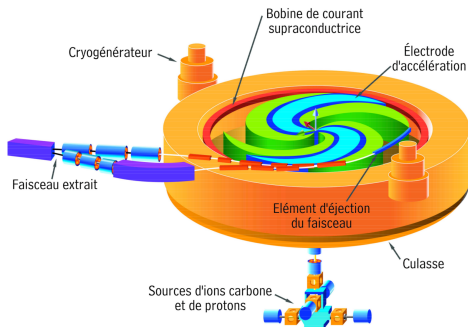
## En Europe :

- ▶ Darmstadt (GSI), Heidelberg (HIT),  
Pavie (CNAO), Wiener Neustadt (MedAustron)  Centres de recherche/thérapie  
carbone

# Développements pour les ions légers : ARCHADE

## Un accélérateur unique au monde

- ▶ Prototypage de cyclotron supra-conducteur pour les carbones,
- ▶ Énergie jusqu'à 400 MeV/n pour  $^{12}\text{C}$  et 250 MeV/n pour les protons
- ▶ Seul accélérateur d'ions carbone  $> 100$  MeV/n en France

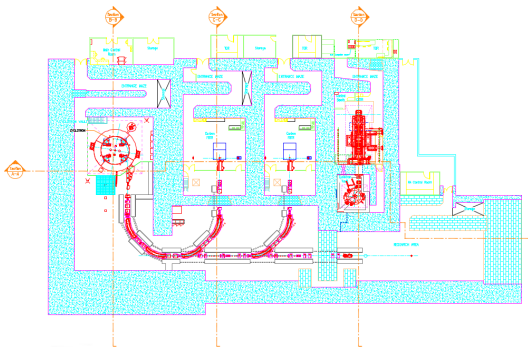


- ▶ 6 m de diamètre,
- ▶ 4 m de haut,
- ▶ refroidit à l'hélium liquide ( $4^\circ\text{K}$ ),
- ▶ 700 t

# Développements pour les ions légers : ARCHADE

## Un centre de thérapie et de recherche

- ▶ Thérapie proton utilisant un synchro-cyclotron supra-conducteur (S2C2),
- ▶ Recherche sur les ions carbone et tous les ions avec  $A/Z = 2$ ,
  - ▶ Salles spécifiques pour la clinique, la radiobiologie et la physique,



R&D d'instruments de dosimétrie clinique et de contrôle