

Activités du groupe « PHABIO » de l'équipe « PRISME » (Pôle Santé) Physique pour l'imagerie nucléaire et les radiothérapies innovantes

É. Testa

Masterclass « Particle Therapy »

Année universitaire 2022-2023



Grands enjeux des radiothérapies innovantes impliquant des ions (hadronthérapie, thérapies vectorisées avec émetteurs α ...)

Principaux enjeux

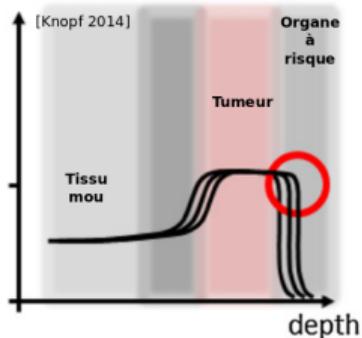
- Réduction des coûts, compacité des accélérateurs (hadronthérapie)
- Incertitudes sur le **parcours des ions** (dose physique en hadronthérapie) et sur la **dose biologique**

Grands enjeux des radiothérapies innovantes impliquant des ions (hadronthérapie, thérapies vectorisées avec émetteurs α ...)

Principaux enjeux

- Réduction des coûts, compacité des accélérateurs (hadronthérapie)
- Incertitudes sur le **parcours des ions** (dose physique en hadronthérapie) et sur la **dose biologique**

Parcours des ions



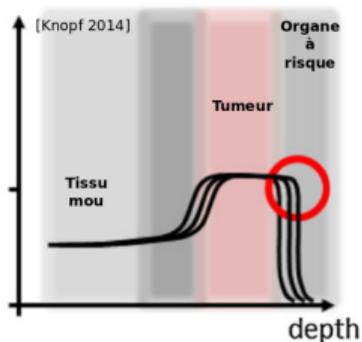
⇒ Besoin d'une **image en temps réel** du parcours des ions

Grands enjeux des radiothérapies innovantes impliquant des ions (hadronthérapie, thérapies vectorisées avec émetteurs α ...)

Principaux enjeux

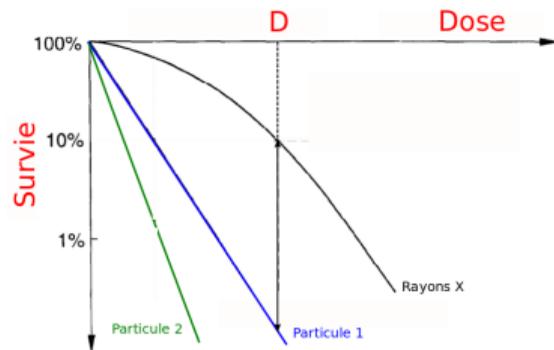
- Réduction des coûts, compacité des accélérateurs (hadronthérapie)
- Incertitudes sur le **parcours des ions** (dose physique en hadronthérapie) et sur la **dose biologique**

Parcours des ions



⇒ Besoin d'une **image en temps réel** du parcours des ions

Dose biologique (survie cellulaire)



⇒ Besoin d'un modèle pour **prédire la survie cellulaire** en fonction de paramètres :

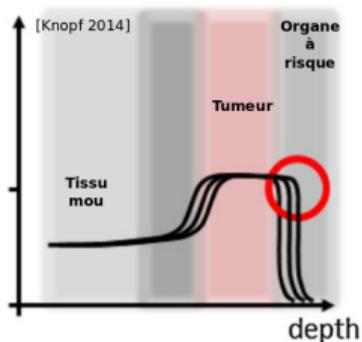
- ▶ physiques (dose, caractéristiques des ions)
- ▶ biologiques (lignée cellulaire...)

Grands enjeux des radiothérapies innovantes impliquant des ions (hadronthérapie, thérapies vectorisées avec émetteurs α ...)

Principaux enjeux

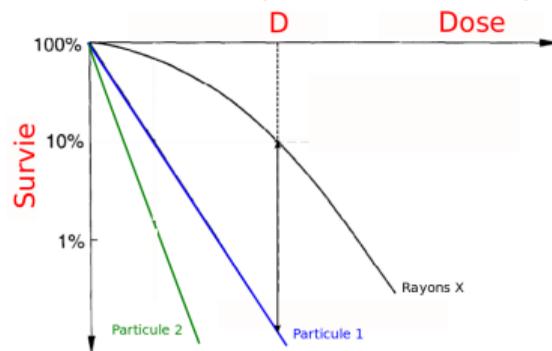
- Réduction des coûts, compacité des accélérateurs (hadronthérapie)
- Incertitudes sur le **parcours des ions** (dose physique en hadronthérapie) et sur la **dose biologique**

Parcours des ions



⇒ Besoin d'une **image en temps réel** du parcours des ions

Dose biologique (survie cellulaire)



⇒ Besoin d'un modèle pour **prédire la survie cellulaire** en fonction de paramètres :

- ▶ physiques (dose, caractéristiques des ions)
- ▶ biologiques (lignée cellulaire...)

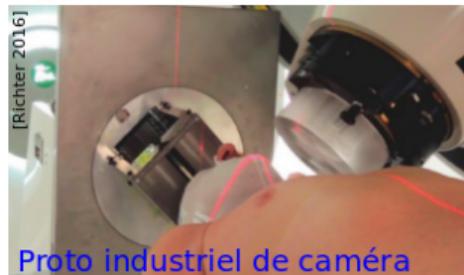
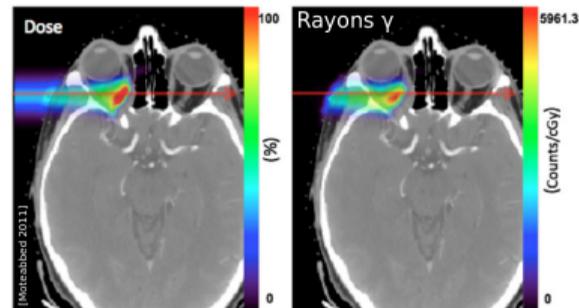
Besoins d'équipe multidisciplinaires

⇒ Pôle « Santé » de l'IP2I : PHABIO (Physiciens) + RCM (Biologistes)

Des détecteurs pour **contrôler le parcours des ions** dans le patient

Principe

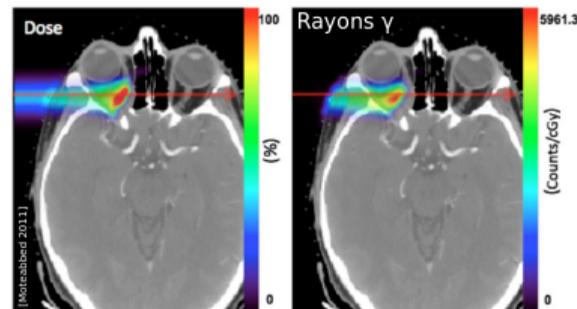
- Une fraction importante des ions incidents subit des **réactions nucléaires**
- ⇒ Production de **rayons γ « prompts »** corrélée au **parcours des ions** (dose)
- ⇒ **Étude/construction** de **systèmes de détection**
 - ▶ Ex : « **Caméras γ prompts** » + hodoscope



Des détecteurs pour **contrôler le parcours des ions** dans le patient

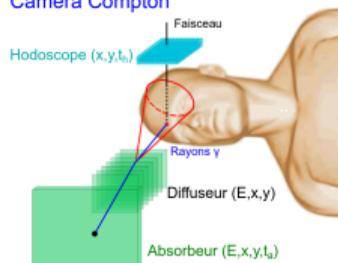
Principe

- Une fraction importante des ions incidents subit des **réactions nucléaires**
- ⇒ Production de **rayons γ** « prompts » corrélée au **parcours des ions** (dose)
- ⇒ **Étude/construction** de **systèmes de détection**
 - ▶ Ex : « **Caméras γ prompts** » + hodoscope



Caméra Compton + hodoscope

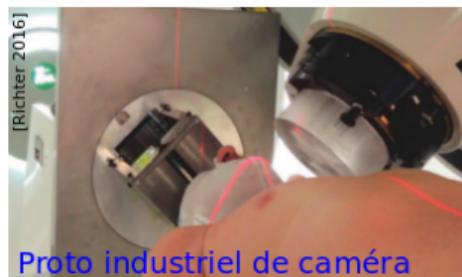
Caméra Compton



Hodoscope



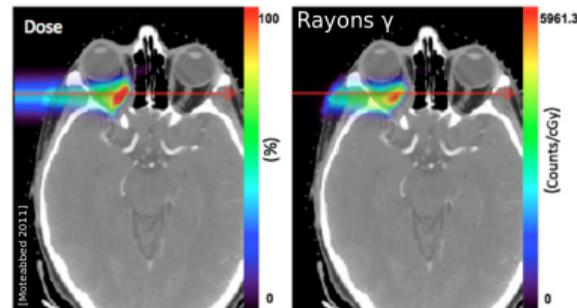
Diffuseur



Des détecteurs pour **contrôler le parcours des ions** dans le patient

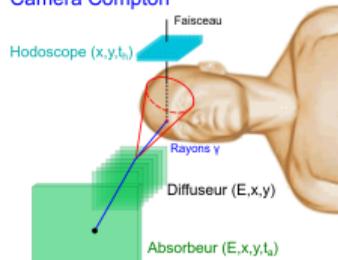
Principe

- Une fraction importante des ions incidents subit des **réactions nucléaires**
- ⇒ Production de **rayons γ** « prompts » corrélée au **parcours des ions** (dose)
- ⇒ **Étude/construction** de **systèmes de détection**
 - ▶ Ex : « **Caméras γ prompts** » + hodoscope



Caméra Compton + hodoscope

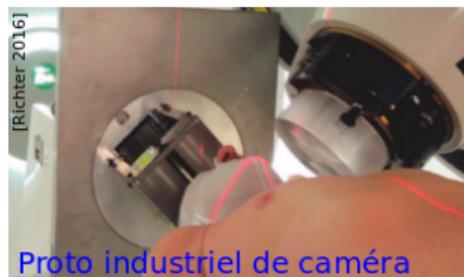
Caméra Compton



Hodoscope



Diffuseur



Mais aussi...

- L'**imagerie diagnostique** (imagerie nucléaire pour détecter par exemple les tumeurs cancéreuses)

Pour rendre compte de...

- Des effets des rayonnements ionisants à **différentes échelles**
 - ▶ **Nanométrique** : cassures de l'ADN
 - ▶ **Micrométrique** : stress oxydant (production de radicaux libres)

Pour rendre compte de...

- Des effets des rayonnements ionisants à **différentes échelles**
 - ▶ **Nanométrique** : cassures de l'ADN
 - ▶ **Micrométrique** : stress oxydant (production de radicaux libres)

Principales données d'entrée

- Calculs de **dépôt de dose dans les cellules** à l'échelle nano et micrométrique
- **3 courbes de survie** cellulaire de référence (rayons X + 2 types d'ions très différents)

Un nouveau modèle de prédiction de la **dose biologique** (survie cellulaire) : NanOX

Pour rendre compte de...

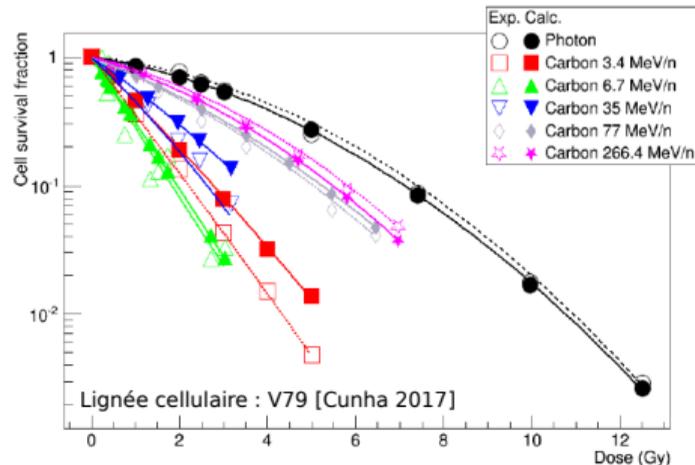
- Des effets des rayonnements ionisants à **différentes échelles**
 - ▶ **Nanométrique** : cassures de l'ADN
 - ▶ **Micrométrique** : stress oxydant (production de radicaux libres)

Principales données d'entrée

- Calculs de **dépôt de dose dans les cellules** à l'échelle nano et micrométrique
- **3 courbes de survie** cellulaire de référence (rayons X + 2 types d'ions très différents)

Principales données de sortie

- Courbes de **survie** pour **tous les rayonnements**



Exemples de dispositif d'irradiations cellulaires : la ligne Radiograaff (IP2I)

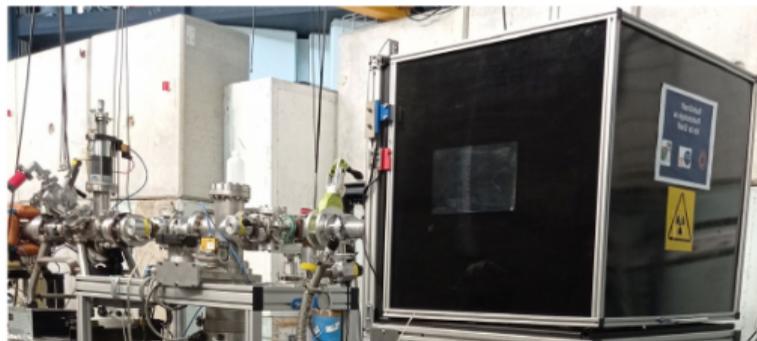
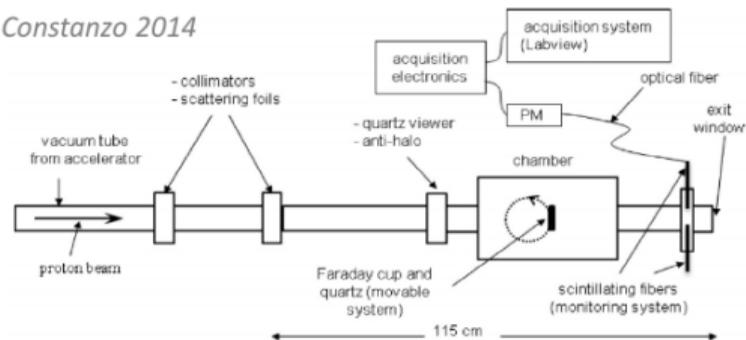
Historique

- 2012-2020 : faisceau de protons de 3 MeV @ accélérateur Van de Graaff 4 MV de l'IP2I ⇒ Maintenant à l'IJClab sur la plateforme ALTO à Orsay (accélérateur Tandem)

Design

- 2 collimateurs-feuille de diffuseur (⇒ champ d'irradiation large de $\sim 2 \text{ cm}^2$, $\pm 3\%$ en homogénéité)
- Système de contrôle du faisceau et de la dose (cage de Faraday, quartz, fibres scintillantes) + enceinte thermostatée et support d'échantillons biologiques

Constanzo 2014



Pôle « Santé » de l'I2PI

- Etude des rayonnements ionisants pour les applications médicales (imagerie et radiothérapies innovantes)
- Equipe multidisciplinaire (physiciens, biologistes, cliniciens) + collaborations (informatique, maths. . .) régionales, nationales et internationales (Espagne, Argentine, Italie, Allemagne, Belgique. . .)

Le domaine des rayonnements ionisants dans le médical

- Éminemment multidisciplinaire
- Techniques de pointe dans chaque discipline : détecteur, IA, big data, imagerie moléculaire, génétique, épi-génétique, nano-médecine. . .

Rôle des physiciens

- Connaissance des interactions des rayonnements avec la matière
- Culture générale de physique et maîtrise de concepts (e.g. physique statistique)
- Outils de simulation numérique et de détection
- Analyse de données