



Disponible en ligne sur

**ScienceDirect**  
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

**EM|consulte**  
www.em-consulte.com



Mise au point

## Aspects techniques de la protonthérapie : installation, appareils, radioprotection



### *Technical aspects of protontherapy: Setup, equipment and radioprotection*

R. Ferrand

Département d'ingénierie et de physique médicale, institut universitaire du cancer Toulouse–Oncopôle, 1, avenue Irène-Joliot-Curie, 31059 Toulouse cedex 9, France

#### INFO ARTICLE

##### Mots clés :

Protonthérapie  
Radioprotection  
Projet  
Accélérateurs  
Management de projet

#### RÉSUMÉ

La protonthérapie, en dépit du coût encore très élevé des installations et des questionnements toujours présents sur sa « vraie » place dans l'ensemble des modalités de radiothérapie, est toujours en pleine croissance dans le monde, avec près de 60 centres en opération aujourd'hui et plus de 30 projets déclarés ou en cours de construction (<http://www.ptcog.ch>) [1]. Devenue depuis un certain nombre d'années, une modalité technologiquement mature et fiable, la protonthérapie ne s'implante cependant pas comme toute autre modalité de radiothérapie et la mise en œuvre d'un projet constitue un changement d'échelle majeur au niveau d'une institution hospitalière, aux contraintes techniques, architecturales et financières beaucoup plus lourdes. Il convient d'en prendre toute la mesure avant de se lancer dans un projet. En effet, une installation maîtrisée est une condition nécessaire (mais non suffisante) d'un démarrage efficace de l'activité clinique et de la pérennité économique de l'ensemble.

© 2016 Société française de radiothérapie oncologique (SFRO). Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

#### ABSTRACT

The number of protontherapy facilities is still increasing rapidly with more than 30 ongoing projects and close to 60 currently under operation. Although the technology is now validated and robust, a proton facility cannot be considered as a standard radiation therapy equipment: its constraints in terms of building, services, project management are of paramount impact at the level of the hospital. Therefore, a protontherapy project must be carefully considered and prepared, which is mandatory for further fluid and efficient clinical operation.

© 2016 Société française de radiothérapie oncologique (SFRO). Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

##### Keywords:

Proton therapy  
Radiation protection  
Accelerator technology  
Project management  
Acceptance

### 1. Introduction

En dépit de son coût élevé et des questionnements toujours actuels sur sa « vraie » place dans l'ensemble des modalités de radiothérapie, la protonthérapie continue de se développer dans le monde. On peut notamment remarquer que certains pays européens qui ne s'étaient pas à ce jour équipés de centres de protonthérapie ont désormais des équipements en cours de

construction ou en fonctionnement, tels que le Royaume-Uni, le Danemark, la Belgique et les Pays Bas [1].

En France, alors que la situation avait peu changé entre 1990 et 2010 (deux centres en opération, CPO, Orsay, institut Curie, et Nice, centre Antoine-Lacassagne, dont seul le premier cité à haute énergie), elle bouge beaucoup depuis : mise en œuvre de la nouvelle installation du CPO avec bras isocentrique en 2010, démarrage de la nouvelle installation de haute énergie de Nice en 2016, démarrage de la construction du centre Archade de Caen avec une mise en route clinique prévue en 2018 et réflexion nationale DHOS-INCa (Direction générale de l'offre de soin, Institut national du cancer), motivée entre autres par plusieurs nouveaux projets déclarés.

Adresse e-mail : [ferrand.regis@iuct-oncopole.fr](mailto:ferrand.regis@iuct-oncopole.fr)

<http://dx.doi.org/10.1016/j.canrad.2016.07.091>

1278-3218/© 2016 Société française de radiothérapie oncologique (SFRO). Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Ce développement des projets de protonthérapie est entre autres la conséquence d'un effort industriel important pour rendre les équipements les plus accessibles possible, tant d'un point de vue technologique qu'économique. Ainsi, bien que le seuil financier reste encore trop élevé pour une vraie démocratisation de cette modalité, un effort de standardisation et de robustesse des installations de protonthérapie a été fait. De même, l'apparition de centres à équipements plus compacts ou à une salle a permis de réduire le coût minimum d'acquisition d'un équipement.

Néanmoins, on ne peut pas considérer à ce jour l'installation d'une machine de protonthérapie de la même manière que celle d'une installation de radiothérapie classique. La taille et l'impact du projet à l'échelle de l'institution qui le porte est d'une toute autre dimension. En outre, les conséquences de la réalisation du projet (positives ou négatives) sont beaucoup plus importantes pour la structure, quelle que soit sa taille.

L'objectif est ici de faire un point global sur l'état de l'art technologique des installations de protons et de donner quelques éléments sur le montage d'un projet de protonthérapie.

## 2. État de l'art technologique

La protonthérapie est aujourd'hui une technologie mature. Si le marché (les compagnies qui proposent de la protonthérapie ou y sont associées) est encore en constante évolution, les équipements proposés, qui s'appuient sur le socle de plus de 80 ans de physique des accélérateurs (le premier cyclotron ayant été conçu par E. Lawrence en 1930), sont aujourd'hui maîtrisés dans leur conception : un accélérateur de particules (cyclotron ou synchrotron) qui produit et accélère les protons, une ligne de transport de faisceau (composée d'aimants déviant et focalisant le faisceau qui voyage sous vide) comprenant en fin de ligne structure mécanique fixe ou rotative qui oriente le faisceau vers le patient et, enfin, un système de délivrance de la dose passif ou actif [2,3].

Sur la partie « amont » du système de protonthérapie (accélérateur, ligne de faisceau, fin de ligne fixe ou avec bras isocentrique), les progrès majeurs ont porté (et portent toujours) sur une plus grande fiabilité (un *uptime* supérieur à 97 % est communément atteint, même sur des périodes d'utilisation longues), un contrôle commande optimisé (ayant par exemple comme conséquence un temps de basculement entre salles de quelques secondes ou dizaines de secondes) et tout particulièrement sur une réduction de la taille des équipements. Ainsi, deux évolutions fortes se sont faites au fil des années :

- d'une part, une évolution du *design* de l'ensemble machine-ligne de faisceau-salles de traitement. Les éléments les plus marquants sont l'apparition de systèmes clés en main à une seule salle par machine (voire avec la machine dans la salle) et ligne de faisceau réduite, des bras isocentriques à rotation inférieure à 360° (le complément angulaire étant assuré par le positionneur robotisé du patient) ;
- d'autre part, une volonté de compacter les éléments pris individuellement (cyclotron, aimants de déviation et, par conséquent, bras isocentrique) par l'apport de la technologie supraconductrice, comme cela se faisait déjà classiquement en physique des accélérateurs. L'apport de la technologie supraconductrice permet ainsi non seulement de réduire la taille et le poids de l'équipement, mais également sa consommation électrique. À titre d'exemple, les cyclotrons haute énergie pour la protonthérapie peuvent ainsi passer de 220 tonnes (technologie « chaude » non supra) à 85 tonnes (champ magnétique ~3,5 T supra), 50 tonnes (~5,3 T supra) jusqu'à 20 tonnes (~9 T). Pour ce dernier, la taille et la masse réduite permettent d'embarquer la machine sur le bras isocentrique [4].

Cette course à la compacité doit se poursuivre pour encore réduire les coûts d'investissement et d'opération (maintenance, consommation) de ces installations.

Sur la partie aval (distribution de la dose), s'est progressivement imposé comme le système de référence le *pencil beam scanning* [5–7], c'est-à-dire le balayage tridimensionnel du volume cible par des « spots » correspondant à des pics de Bragg individuels. La profondeur de chaque pic de Bragg est déterminée par l'énergie incidente du faisceau et la position du pic est obtenue au moyen d'aimants de balayage situés enfin de ligne. Grâce à cette modalité de balayage, il est également possible de faire de la modulation d'intensité par protons (IMPT) [8]. Il est important de rappeler que, contrairement à toutes les autres modalités de radiothérapie externe, la modulation se fait non seulement en intensité (quantité de protons par spot en fonction de la position), mais également en énergie, faisant ainsi du *spot scanning*/IMPT la modalité de délivrance de la dose la plus sophistiquée aujourd'hui (mais pas toujours la plus précise en fonction du site d'irradiation, des hétérogénéités, mouvements... mais ce débat ne fait pas l'objet du présent article).

Là-encore technologiquement maîtrisé, le système de balayage de faisceau est l'objet de recherches continues pour améliorer son temps de délivrance, ce qui nécessite une plus grande vitesse de balayage, une diminution des temps morts de changement d'énergie, etc., tout en gardant un parfait contrôle de la dose délivrée [9]. En effet, avec cette modalité de délivrance, le temps d'irradiation est corrélé avec le volume irradié et, dans le cas de tumeurs mobiles ou déformables, ce temps peut être préjudiciable à une bonne qualité de traitement [10–12].

Pour ce qui concerne les technologies dites « de rupture » par rapport à la technologie d'accélérateurs classique (et éprouvée), une dynamique scientifique active s'est faite il y a quelques années autour l'accélération par murs diélectriques (DWA) [13] et la protonthérapie par lasers intenses [14,15]. Si la première voie est aujourd'hui l'objet de recherches peu actives, il persiste une dynamique de recherche importante autour de la seconde avec aujourd'hui des publications qui vont jusqu'à préfigurer non seulement des systèmes de production de protons par lasers mais allant jusqu'à la sélection énergétique, le transport et le système complet [16,17]. Néanmoins, les caractéristiques de faisceau sont encore éloignées des spécifications cliniques et la perspective de machines de thérapie « laser based » est encore lointaine. Nous ne la considérerons pas dans une perspective d'installation court terme.

Le dernier point sur la technologie porte sur tout l'environnement autour de la protonthérapie, c'est-à-dire les systèmes de planification, dosimétrie, assurance qualité, radio-protection, etc. Un article complémentaire se focalise sur ce point. Nous retiendrons néanmoins ici que là-aussi, bien que de nombreuses recherches se fassent sur des aspects innovants (dont notamment l'imagerie en ligne liée au faisceau de protons, il existe là-encore un environnement assez mature de systèmes de planification de traitement et de dosimétrie permettant de mettre en œuvre la protonthérapie au démarrage d'un centre.

## 3. Projet d'installation d'un équipement de protonthérapie

L'évolution de ces 20 dernières années a contribué à standardiser toujours plus la protonthérapie et à l'intégrer comme une des modalités de radiothérapie. Ainsi, dans les centres de radiothérapie ayant de la protonthérapie, la planification de traitement, les dosimétries comparatives incluent naturellement cette modalité.

Toutefois, et malgré les efforts constants de réduction de la taille et du coût des installations, un projet de protonthérapie ne peut pas

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/5525972>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/5525972>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)