



**HAL**  
open science

# Détermination automatique des paramètres du faisceau d'électrons primaires dans les simulations Monte Carlo d'accélérateurs linéaires en radiothérapie

Delphine Lazaro, Eric Barat, Thomas Dautremer, Thierry Montagu, Isabelle Chabert, L. Guérin, Alain Batalla

## ► To cite this version:

Delphine Lazaro, Eric Barat, Thomas Dautremer, Thierry Montagu, Isabelle Chabert, et al.. Détermination automatique des paramètres du faisceau d'électrons primaires dans les simulations Monte Carlo d'accélérateurs linéaires en radiothérapie. Journées codes de calculs en radioprotection radiophysique et dosimétrie, Mar 2014, Paris, France. cea-04045696

**HAL Id: cea-04045696**

**<https://cea.hal.science/cea-04045696>**

Submitted on 25 Mar 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# DETERMINATION AUTOMATIQUE DES PARAMETRES DU FAISCEAU D'ELECTRONS PRIMAIRES DANS LES SIMULATIONS MONTE-CARLO D'ACCELERATEURS LINEAIRES EN RADIOTHERAPIE

D. Lazaro<sup>1</sup>, E. Barat<sup>1</sup>, T. Dautremer<sup>1</sup>, T. Montagu<sup>1</sup>, I. Chabert<sup>1</sup>, L. Guérin<sup>2</sup>, A. Batalla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CEA, LIST, laboratoire Modélisation, Simulation et Systèmes, Centre de Saclay, 91191  
Gif-sur-Yvette, France

<sup>2</sup>Service de Physique Médicale, Centre François Baclesse, 14076 Caen Cedex, France

## Contexte et objectifs

En radiothérapie, la maîtrise de la dose délivrée lors d'un traitement est cruciale pour assurer la réussite de celui-ci. Grâce à la méthode de Monte Carlo (MC), une précision de l'ordre de 2-3% sur le calcul de dose lors de la planification du traitement est possible, à condition que le modèle MC de l'accélérateur linéaire (linac) reproduise fidèlement les caractéristiques physiques du faisceau d'irradiation. Pour cela, les paramètres décrivant les distributions spatiale et énergétique du faisceau primaire d'électrons doivent être réglés finement. La détermination de ces paramètres s'effectue généralement par essai/erreur jusqu'à reproduire au mieux les mesures, ce qui peut s'avérer fastidieux et chronophage, et ne garantit pas que les paramètres optimaux ont été retenus. Nous présentons ici une nouvelle méthode de détermination automatique des paramètres du faisceau primaire d'électrons.

## Matériel et méthodes

La méthode développée requiert le calcul par simulation MC de distributions de dose 3D dans l'eau pour un linac donné et pour différents paramétrages du faisceau d'électrons. Ce dernier est supposé monodirectionnel, mono-énergétique d'énergie  $E_0$  et issu d'une tâche focale circulaire de rayon  $r$ . Les valeurs de  $E_0$  et  $r$  sont choisis sur une grille, avec des pas de 0,5 MeV et 0,5 mm en énergie et en rayon, respectivement. Un champ de 30x30 cm<sup>2</sup> a été simulé en raison de sa plus grande sensibilité aux variations de  $E_0$  et  $r$ .

La méthode d'ajustement automatique est basée sur 2 phases distinctes. On établit d'abord un modèle continu « 5D » de la dose (3 dimensions spatiales, énergie  $E_0$  et rayon  $r$ ), obtenu par une technique de régression non paramétrique [1] étendue aux variables  $E_0$  et  $r$  dont on cherche la distribution. L'objectif est de calculer rapidement la valeur de dose en un point quelconque de la cuve, pour des valeurs quelconques de  $E_0$  et  $r$ . L'algorithme permet également de débruiter la dose 3D.

On résout ensuite le problème inverse : on détermine la distribution en énergie et rayon de la source permettant d'ajuster au mieux les données expérimentales, composées de mesures dans l'eau de profils de dose et de rendement en profondeur. Ce problème inverse est *sévèrement mal posé* car il peut donner lieu à des estimations de paramètres très différents. Cette situation requiert une *régularisation* obtenue ici par une approche bayésienne non paramétrique, qui permet aussi de conserver une grande flexibilité sur la nature du spectre en énergie. Le modèle résultant proposé (dit bayésien non-paramétrique) est *un mélange par processus de Dirichlet* [2] qui peut être vu comme une somme potentiellement infinie de composantes, chacune étant constituée d'une source de rayon  $r_i$  et d'un spectre de forme gaussienne (de moyenne  $E_i$  et d'écart-type  $\sigma_i$ ). La procédure d'inférence suit une approche MC par Chaîne de Markov (MCMC) et reconstruit à la fois la distribution statistique du faisceau d'électrons en énergie et rayon et les *intervalles crédibles* associés.

## Résultats et conclusions

Les résultats du test de notre méthode dans une situation idéale exempte d'erreurs de modélisation MC sont montrés Figure 1. Des profils et rendements synthétiques ont été générés à partir du modèle continu pour des paramètres de source donnés. La méthode reconstruit un spectre poly-énergétique et une distribution spatiale du faisceau (rouge) dont les intervalles 95 % couvrent les données synthétiques (vert). Ces derniers soulignent aussi que plusieurs combinaisons énergie/tâche focale sont possibles en raison de la nature sévèrement mal posée du problème.

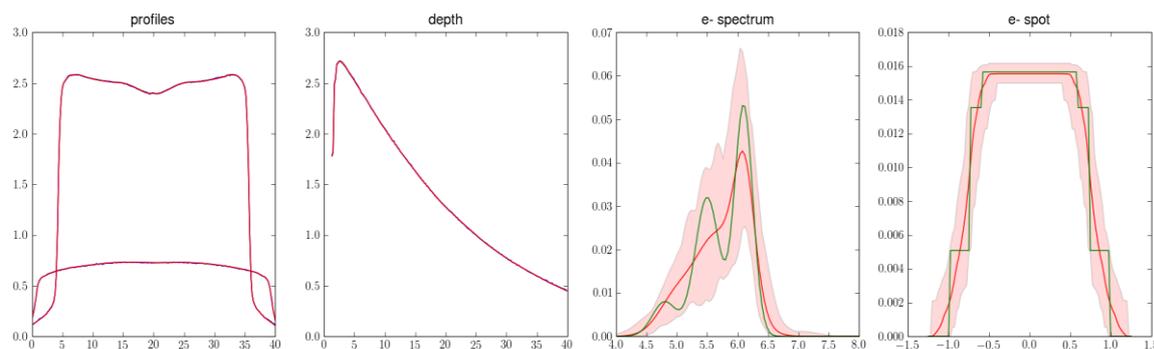


FIGURE 1: Distributions d'énergie et de rayon du faisceau reconstruites à partir de données synthétiques. De gauche à droite : profils observés (bleu) et reconstruits (rouge) à  $z=5\text{cm}$  et  $30\text{cm}$ ; rendement en profondeur observé (bleu) et reconstruit (rouge); spectre du faisceau (vert: référence, rouge: estimée, rose: intervalle crédible 95%); tache focale du faisceau (vert: référence, rouge: estimée, rose: intervalle crédible 95%).

Appliquée à un linac ARTISTE (Siemens), la méthode a permis de déduire une énergie moyenne du faisceau d'électrons de 6,25 MeV et un rayon de la tâche focale de 1 mm, en accord avec les valeurs préconisées par le constructeur. Ce paramétrage conduit à un très bon accord des profils de dose et des rendements en profondeur simulés avec les mesures. La méthode, ainsi que sa sensibilité et sa robustesse aux bruits de simulation et d'observation, sont actuellement testées sur des mesures provenant de deux linacs SYNERGY (Elekta) différents.

## Références

- [1] Lazaro D L *et al* 2013 Denoising techniques combined to Monte Carlo simulations for the prediction of high resolution portal images in radiotherapy treatment verification, *Phys. Med. Biol.* **58** 3433–3459.
- [2] Hjort N L *et al* 2010 Bayesian Nonparametrics (Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics) (New York: Cambridge University Press)