

THESE DE DOCTORAT DE

reçu à la scolarité
le 04/10/2021

L'UNIVERSITE DE NANTES

ECOLE DOCTORALE N° 596

Matière, Molécules, Matériaux

Spécialité : *Physique Subatomique et Instrumentation*

Par

Flavien RALITE

Développement de méthodes innovantes de dosimétrie en ligne pour l'hadronthérapie et la radiobiologie

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 18 novembre 2021

Unité de recherche : SUBATECH – UMR 6457

Thèse N° :

Rapporteurs avant soutenance :

| | |
|-----------------|--|
| Régine GSCHWIND | Professeure de l'Université de Franche-Comté, Laboratoire Chrono-Environnement |
| Joel HERAULT | Physicien médical, Institut Méditerranéen de Protonthérapie |

Composition du Jury :

| Président : | Prénom Nom | Fonction et établissement d'exercice (8) (à préciser après la soutenance) |
|-----------------|------------------|---|
| Examineurs : | Férid HADDAD | Professeur, SUBATECH, GIP ARRONAX |
| | Andrea DENKER | Professeure, Helmholtz Zentrum Berlin |
| | Etienne TESTA | Maître de Conférences, IP2I |
| Dir. de thèse : | Vincent METIVIER | Professeur, IMT Atlantique, SUBATECH |
| Co-encadrant : | Charbel KOUMEIR | Ingénieur de Recherche, GIP ARRONAX |

Titre : Développement de méthodes innovantes de dosimétrie en ligne pour l'hadronthérapie et la radiobiologie

Mots clés : Hadronthérapie, Contrôle de faisceau, Méthode non-invasive, Bremsstrahlung, Lumière

Résumé : L'hadronthérapie utilise des faisceaux d'ions pour délivrer de manière intense et localisée (pic de Bragg) une dose d'irradiation à un volume tumoral. Cette propriété nécessite un contrôle renforcé du dépôt de dose pour éviter toute erreur sur le traitement. Les méthodes non-invasives proposent une approche pour contrôler les faisceaux d'ions pendant l'irradiation sans engendrer de perturbation sur ces derniers. La modélisation de la dose biologique est également une voie étudiée pour réduire les incertitudes sur les traitements. Dans ce cadre le cyclotron ARRONAX développe une plateforme d'irradiation dédiée aux mesures radiobiologiques nécessaire à la construction des modèles de simulation. Cette thèse s'inscrit dans l'élaboration de cette plateforme en proposant des méthodes non-invasives de contrôle du faisceau et de la dose délivrée aux échantillons biologiques.

Deux approches ont été étudiées, et reposent sur la détection du rayonnement de freinage (bremsstrahlung) et de la lumière émise par le milieu sous l'effet de l'irradiation. Une étude de faisabilité d'utilisation du bremsstrahlung est présentée, s'appuyant sur la mesure de données expérimentales (spectres de rayons X et sections efficaces) et la conception d'un modèle analytique de simulation. Un dispositif a été réalisé pour imager le parcours de faisceaux de protons dans une cuve à eau via la détection de la lumière émise par le milieu. La combinaison des deux méthodes a été étudiée dans l'objectif d'ouvrir les possibilités du bremsstrahlung vers des applications pré-cliniques voire cliniques.

Title : Development of innovative online dosimetry methods for hadrontherapy and radiobiology

Keywords : Hadrontherapy, Beam monitoring, Non-invasive method, Bremsstrahlung, Light

Abstract : Particle therapy uses ions beams to deliver a high and localized (Bragg peak) radiation dose to the tumor. This property requires enhanced dose monitoring to avoid treatment errors. Non-invasive methods allow online beam monitoring without causing disturbances. Biological dose modelization is also a studied approach to reduce treatments uncertainties. In this frame, the ARRONAX facility develops a radiation platform dedicated to radiobiological experiments needed to build simulation models. This thesis takes part in the platform development by giving non-invasives methods to monitor the ion beam and the deposited dose to the biological samples.

Two ways were studied, based on the measure of the bremsstrahlung X-rays and the light emitted directly from the irradiated medium. A feasibility study on the use of the bremsstrahlung X-rays is presented, basing on experimental measurements (X-rays spectra and cross-sections) and the building of an analytical model of simulation. An experimental setup specially designed measures the proton beam range in a water tank using the detection of the light emitted by the medium. Both methods were combined and studied to open the possibilities gives by the bremsstrahlung X-rays for pre-clinical and clinical applications.