
Développement d'un pipeline de création de jumeaux numériques pour l'optimisation des protocoles de dosimétrie en médecine nucléaire

Nathan Sinsouilliez^{*†1,2}, Berengere Piron^{2,3}, Baptiste Magnier¹, Stefan Janaqi¹, Vincent Boudousq^{2,4}, and Manuel Bardiès^{2,5}

¹EuroMov - Digital Health in Motion – IMT - MINES ALES, Université de Montpellier, Université de Montpellier : *URUMT102 – France*

²Institut de Recherche en Cancérologie de Montpellier – CRLCC Val d'Aurelle - Paul Lamarque, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Université de Montpellier – France

³Service de radiothérapie (CHRU Nîmes) – Hôpital Universitaire Carémeau [Nîmes] – Place du Professeur Robert Debré, 30029 Nîmes, France

⁴Service de Médecine nucléaire (CHRU Nîmes) – Centre Hospitalier Régional Universitaire de Nîmes – Place du Pr R. Debré 30029 Nîmes Cedex 9, France

⁵Institut régional de Cancérologie de Montpellier – Institut régional du Cancer de Montpellier – France

Résumé

Introduction : Abdollahi et al., 2024 (1) définissent les Jumeaux Numériques (JN) comme des "répliques virtuelles d'objets, de systèmes ou de processus ayant pour objectif de simuler le comportement et la performance de l'original à des fins d'analyse et/ou d'optimisation". Ils permettent de mener des études numériques dans un cadre proche de la réalité clinique, entièrement maîtrisé et paramétrable, tout en limitant les coûts et les risques pour le patient. Garcia et al., 2015 (2) ont initié une approche précurseur en médecine nucléaire avec leur logiciel TestDose pour la modélisation des acquisitions et de la dosimétrie. Cette étude s'en inspire pour proposer un pipeline pour créer un JN basé sur des données patient, destiné à l'étude et l'optimisation des protocoles de dosimétrie en médecine nucléaire.

Matériel et méthodes : Ce pipeline repose sur une architecture modulaire articulée comme suit :

1. Modélisation anatomique à partir du modèle XCAT 2, recalé sur des images CT du patient. L'objectif est d'exploiter le concept de " *patient-morphed phantom* " défini par Carter et al., 2021 (3), afin de créer un JN anatomique détaillé et fidèle à la réalité.
2. Modélisation fonctionnelle via un modèle pharmacocinétique PBPK inspiré de Kletting et al., 2016 (4), adapté aux caractéristiques individuelles du patient pour simuler l'absorption, la distribution, le métabolisme et l'excrétion (ADME) du radiopharmaceutique.
3. Essais cliniques virtuels : Modélisation Monte-Carlo (GATE) de l'imagerie et de la dosimétrie dans des conditions cliniques réalistes afin d'évaluer l'impact des choix méthodologiques sur la qualité des images et l'exactitude dosimétrique.

*Intervenant

†Auteur correspondant: nathan.sinsouilliez@mines-ales.fr

Résultats : Le pipeline permet la création de JN détaillés combinant anatomie et pharmacocinétique spécifiques au patient. Les premières simulations démontrent sa capacité à générer des acquisitions réalistes et à explorer l'impact des paramètres méthodologiques sur les protocoles dosimétriques. Ce cadre fournit un environnement contrôlé pour comparer *in silico* les méthodes existantes et contribuer à leur harmonisation. Toutefois, la validation avec des données cliniques réelles reste indispensable avant toute application concrète.

Conclusion : Cette approche propose une méthodologie innovante pour l'optimisation des protocoles dosimétriques en médecine nucléaire. Initialement dédié à l'évaluation et à la standardisation des pratiques actuelles, ce pipeline a vocation à évoluer vers des modèles prédictifs de dose absorbée, offrant à terme un outil d'aide à la décision pour la planification thérapeutique personnalisée.

Références

- Abdollahi H, Yousefirizi F, Shiri I, et al. *Theranostic digital twins: Concept, framework and roadmap towards personalized radiopharmaceutical therapies. Theranostics. 2024;14(9):3404-3422. doi:10.7150/thno.93973*
- Carter LM, Camilo Ocampo Ramos J, Bolch WE, et al. *Patient-morphed mesh-type phantoms to support personalized nuclear medicine dosimetry. Med Phys. 2021;48(4):2018-2026. doi:10.1002/mp.14784*
- Garcia MP, Villoing D, McKay E, Ferrer L, Cremonesi M, Botta F, Ferrari M, Bardiès M. *TestDose: A nuclear medicine software based on Monte Carlo modeling for generating gamma camera acquisitions and dosimetry. Med Phys. 2015 Dec;42(12):6885-94. doi: 10.1118/1.4934828* Kletting P, Schuchardt C, Kulkarni HR, et al. *Investigating the Effect of Ligand Amount and Injected Therapeutic Activity. PLoS One. 2016;11(9):e0162303. doi:10.1371/journal.pone.0162303*

Mots-Clés: Jumeau Numérique, Médecine Nucléaire, Dosimétrie, Thérapie, SPECT/CT, GATE, PBPK