

# Planification des rendez-vous des patients avec un algorithme d'optimisation dans le service de radiothérapie du CHU de Liège.

Chavez Marcela<sup>1</sup>, Gonzalez Silvia<sup>2</sup>, Ruiz Alvaro<sup>2</sup>, Duflot Patrick<sup>1</sup>, Izidor Mlakar<sup>3</sup>, Valentino Safran<sup>3</sup>, Umut Arioz<sup>3</sup>, Hatzikou Magda<sup>4</sup>, Latsou Dimitra<sup>4</sup>, Jansen Nicolas<sup>1</sup>, Philippe Kolh<sup>1</sup>, Marteyn Van Gasteren<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Liège University Hospital ; 1 Av De L'Hôpital, 4000 Liège, Belgium,

T : +32(0)4-323-7090, [vchavez@chuliege.be](mailto:vchavez@chuliege.be)

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Castilla y León; C. López Bravo, 70, 09001 Burgos, Spain, .

T: +34 947-298-471, [silvia.gonzalez@itcl.es](mailto:silvia.gonzalez@itcl.es)

<sup>3</sup>University of Maribor, Koroška cesta 46, 2000 Maribor, Slovenija,

T: +386 2-220-7267, [izidor.mlakar@um.si](mailto:izidor.mlakar@um.si)

<sup>4</sup>PharmEcons Easy Access Ltd, York 63-65 Heworth Road York, A1, YO31, United Kingdom,

T: +44-695-546-0765, [hatzikou@gmail.com](mailto:hatzikou@gmail.com)

## 1. Résumé

L'administration rapide d'une radiothérapie (RT) fait partie des traitements efficaces contre le cancer. Chaque jour, le service de radiothérapie du Centre Hospitalier de l'Université de Liège (CHU de Liège) doit planifier des dizaines de séances d'irradiation en tenant compte des ressources humaines et matérielles disponibles telles que les professionnels de la santé et les accélérateurs linéaires. Avec le nombre croissant de patients atteints de différents types de cancers, établir manuellement des calendriers respectant les protocoles de traitement de chaque patient est devenu une tâche extrêmement difficile et chronophage. Nous proposons un algorithme d'optimisation qui planifie et génère automatiquement les rendez-vous (RDV) des patients. Le modèle est capable de déplacer des RDV fixés pour prendre en compte des RDV très urgents. Il respecte les différents protocoles de traitement et devrait accroître la satisfaction du personnel et des patients

## Mots Clés

**Gestion des établissements sanitaires, Radiothérapie, Algorithme d'Optimisation, Planification, Rendez-vous**

## 2. Contexte

L'incidence du cancer augmente à l'échelle mondiale, principalement en raison du vieillissement de la population<sup>1</sup>. Parmi les traitements contre le cancer, la RT a pris une place essentielle ces dernières années au vu d'innovations technologiques et d'essais cliniques avec des nouvelles indications d'irradiation. Malgré qu'environ 50% des patients européens atteints d'un cancer aient une indication de RT, plus d'un sur quatre ne reçoit pas la RT dont il a besoin<sup>2</sup>. A ceci s'ajoute le facteur temps qui est un

élément clé en radio-oncologie car une RT non délivrée à temps peut conduire à une récurrence locale<sup>3</sup> ou même à des métastases<sup>3,4</sup>. Pour éviter ces complications qui peuvent être néfastes, la RT doit débuter dans des délais aussi courts que possible selon les protocoles standards. De même, des fréquences des sessions d'irradiations ne respectant pas les protocoles constituent un problème majeur dans le contrôle local des tumeurs et/ou de la survie.

La satisfaction du patient est au centre des préoccupations du CHU de Liège. Dans son unité de RT, elles se traduisent, entre autres, par une amélioration en continu de la qualité et de la sécurité de ses soins<sup>5</sup>. Il est dès lors primordial d'éviter une détresse psychologique supplémentaire aux patients atteints d'un cancer due à l'attente d'une RT. Être irradié à temps tout en respectant le protocole de traitement, procure une satisfaction chez les patients qui se traduit par une meilleure compliance et une coopération accrue soignant-patient.

Dans un contexte européen où les états cherchent à garantir un accès égal à des soins de santé modernes et efficaces à ses citoyens, la satisfaction des patients est un indicateur important de la qualité des systèmes de santé<sup>6</sup>. Elle permet d'identifier les domaines à améliorer et les besoins des patients et, par conséquent, de développer des services plus efficaces et de meilleure qualité. Les soins de santé devenant un domaine de plus en plus concurrentiel, mesurer le niveau de satisfaction et la qualité des soins de santé peut aider les gestionnaires de santé à contrôler, améliorer et optimiser plusieurs aspects organisationnels<sup>7</sup>.

Chaque semaine, l'unité de RT est confrontée à la tâche complexe de planification de RDV d'irradiations sériées de dizaines de patients qui doivent être réalisées sur plusieurs jours. Cette planification doit être en accord avec les RDV de chaque patient fixés par d'autres unités de l'hôpital. A la complexité de la tâche, s'ajoute son côté laborieux car sa réalisation est manuelle et nécessite l'acquisition de plusieurs informations du patient obtenues soit par téléphone avec d'autres unités de l'hôpital ou en consultant plusieurs logiciels interne du CHU de Liège.

L'unité de RT est également soucieuse de respecter les besoins des patients et de leur entourage, tels que leurs horaires préférentiels de traitement. Respecter les besoins personnels sans délaisser la situation médicale implique de tenir compte en parallèle de plusieurs variables de chaque patient avant d'établir la planification des RDV. Deux membres du personnel administratif au CHU de Liège sont dédiés à cette tâche. Actuellement, ce personnel a atteint la limite de la capacité humaine car travaillant dans une unité de référence en Radiothérapie, il se voit confronté à planifier des centaines de RDV de patients. De plus, chaque mois quelques irradiations doivent être planifiées de façon urgente ce qui oblige à déplacer des RDV fixés préalablement entraînant ainsi une surcharge de travail pour le personnel administratif. De même, en cas de panne de machine d'irradiations, des nouvelles planifications de RDV doivent être établies et ceci le plus vite possible.

Mis à part la situation médicale et personnel du patient, les hôpitaux doivent prendre en considération la disponibilité de leurs ressources humaines (soignants) et matérielles (scanner, accélérateur linéaire) lors de la création des RDV sériés d'irradiations. Dès lors, la planification de RDV nécessite de tenir compte d'au moins une dizaine de variables liées aux patients, et aux ressources humaines et matérielles. La pondération de chacune de ces variables diffèrera entre patients selon leurs situations médicales et personnelles. De plus, ne fonctionnant pas de la même manière, les hôpitaux peuvent pondérer différemment chacune de ces variables et même en ajouter ou en supprimer selon leur mode de fonctionnement.

Nous proposons un logiciel d'IA de planification de RDV sériés d'irradiation qui a la capacité de répondre à différents protocoles de traitement tout en réduisant le temps d'attente de début de traitement et en optimisant les ressources humaines et matérielles hospitalières. Ce logiciel répond au besoin d'une médecine personnalisée qui, tout en proposant un traitement plus adapté à chaque patient ouvre la porte

à plusieurs protocoles d'irradiation comportant chacun des instructions de planification pour des traitements spécifiques.

### 3.Méthodologie.

#### 3.1 Le logiciel d'optimisation

Le logiciel de planification de RDV implémenté dans le langage de programmation Angular maintient les systèmes séparés en différents modules (frontend, backend, algorithme), permettant ainsi un plus grand contrôle et une plus grande sécurité du système. Le logiciel collecte les RDV du patient fixés dans les autres unités de l'hôpital et les informations médicales de celui-ci nécessaires à la planification des RDV liés à la radiothérapie à l'aide du protocole FHIR avant d'exécuter l'algorithme d'optimisation. Cet algorithme privilégie (1) la réduction du temps d'attente de début de la radiothérapie, (2) la diminution de plages horaires libres des machines d'irradiations et (3) optimise et respecte le temps de travail du personnel soignant. Le logiciel doit dès lors se conformer aux variables définies par le CHU de Liège, telles que, l'état général du patient, les délais entre la chirurgie et la chimiothérapie, le nombre et la fréquence des séances d'irradiations, le degré d'urgence du traitement, la disponibilité des machines et des ressources humaines et l'agenda d'entretien des machines (Tableau 1). L'objectif de l'algorithme est de réduire le temps d'attente pour la planification, c'est pourquoi un temps compris entre 1 et 5 minutes est accordé pour obtenir la meilleure solution possible pour un patient.

Variables liées à la tumeur	Variables liées au patient	Variables liées aux ressources humaines et matérielles
Catégorie d'urgence de traitement	Présence de pacemaker	Maintenance des machines d'irradiation
Localisation de la tumeur	Fumeur	Disponibilité des machines d'irradiation
Date de chirurgie	Indice de Performance (stade OMS)	Horaires du personnel de la santé
Date de fin de la chimiothérapie	Autres rendez-vous médicaux du patient	
Type de chimiothérapie concomitante avec la radiothérapie		
Temps pour le Scan de Simulation		
Temps des irradiations		
Nombre d'irradiations		
Modalité des irradiations		
Nécessité d'un PET-scan		

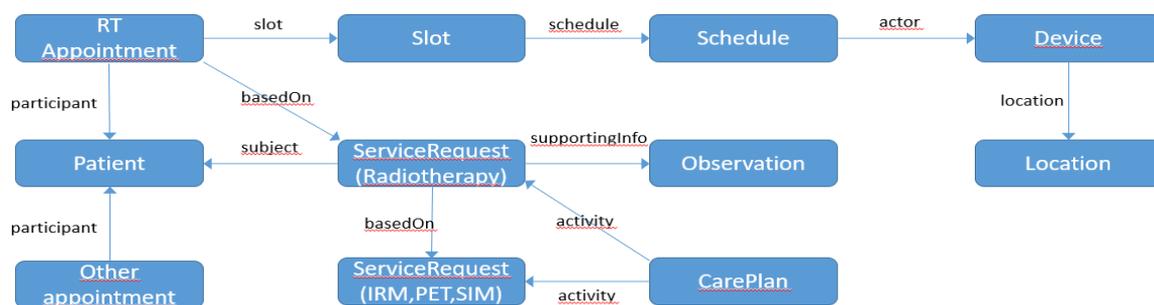
Tableau 1 Variables de la tumeur, du patient et des ressources humaines et matérielles

Comme expliqué ci-dessus, le logiciel planificateur tient compte des RDV du patient en dehors du service de Radiothérapie, comme par exemple dans le service de Cardiologie, de Psycho-oncologie, etc.... Pour ce faire, le logiciel planificateur est couplé à UltraGenda®, un logiciel qui permet la planification des RDV

dans toutes les autres unités de l'hôpital. Ainsi, le logiciel planificateur ne peut pas proposer au patient un RDV dans une plage horaire déjà occupée par UltraGenda®. De plus, le logiciel planificateur est couplé au dossier medical informatisé du patient (OMNIPRO®) où se trouve, entre autres, la prescription pour une radiothérapie avec tous les détails de sa modalité. Finalement le logiciel planificateur est connecté au logiciel Mosaïq (Elekta®) où les jours de maintenance des machines d'irradiation sont enregistrés.

### 3.2 Interopérabilité

Afin de ne pas coupler l'implémentation du planificateur avec les bases de données et interfaces spécifiques d'UltraGenda®, OMNIPRO® et Mosaïq, une couche d'abstraction offrant une interface FHIR a été implémentée. Le choix des ressources FHIR (Figure 1) suit l'approche présentée dans l'implémentation guide (IG) CodeX™ Radiation Therapy (<https://www.hl7.org/fhir/us/codex-radiation-therapy/2022Sep/>). Un plan de traitement de radiothérapie est représenté à haut niveau par une ressource CarePlan. Celle-ci regroupe plusieurs ressources de type ServiceRequest représentant les différentes procédures et traitements à planifier. Le CarePlan contiendra ainsi toujours une ressource ServiceRequest avec le code SNOMED 108290001 (radiothérapie) ainsi qu'une ressource ServiceRequest avec le code SNOMED 228705005 (planification de radiothérapie avec un simulateur). Les autres ressources ServiceRequest sont créées comme indiqué par le radiothérapeute dans l'intention de traitement (IRM, PET/SCAN et/ou épreuve fonctionnelle respiratoire). Ces ressources référencent alors différentes Observations FHIR pouvant impacter la planification des RDV (le poids, le score OMS, le score nutritionnel...). La ressource ServiceRequest dédiée à la radiothérapie contient en outre des extensions FHIR spécifiques pour le nombre de fractions, la dose et le régime pour les différents volumes de traitements. La couche FHIR est également capable de fournir tous les rendez-vous du patient au CHU de Liège au travers des ressources Appointment. Une nomenclature de ces ressources Appointment permet au planificateur d'identifier les RDV liés au traitement RT (consultation avec le radiothérapeute, suivi pacemaker, diététique...). Toutes ces ressources pointent finalement sur la ressource Patient qui est le point d'entrée du planificateur pour découvrir toutes les informations nécessaires à la bonne planification des RDV. Finalement, l'occupation des machines est exposée via des ressources Slot pour chaque machine. L'enchaînement de ressources Schedule, Device et Location permet de modéliser chaque machine de traitement et d'imagerie avec leur plage horaire d'utilisation et leur localisation géographique.



ServiceRequest category: code=108290001=>Radiotherapy  
ServiceRequest category: code=82918005=>PET  
ServiceRequest category: code=228705005=>Simulation  
ServiceRequest category: code=113091000=>IRM  
ServiceRequest category: code=23426006=>EFR

Figure 1 Diagramme de ressources FHIR

### 3.4 Robot Conversationnel

Le logiciel est couplé à une application mobile où le patient peut suivre tous ses RDV et accepter ou refuser, à travers un robot conversationnel (Chatbot), des changements de RDV.

De plus, le logiciel réduit considérablement le temps consacré à la planification permettant aux personnels administratifs de consacrer plus de temps à l'écoute du patient.

Le module Chatbot a été conçu de manière complexe en utilisant le cadre RASA<sup>8</sup>, une plateforme open-source de pointe explicitement conçue pour construire des systèmes conversationnels dotés de solides capacités de compréhension du langage naturel. L'architecture du système de Chatbot comprend trois éléments fondamentaux : (1) la compréhension du langage naturel (NLU), qui examine minutieusement les entrées de l'utilisateur afin de discerner l'intention et d'extraire les informations pertinentes ; (2) la gestion du dialogue, chargée de surveiller le flux de la conversation et l'état actuel afin de déterminer l'action ultérieure optimale ; et (3) la génération du langage naturel (NLG), dédiée à l'élaboration de réponses de type humain adaptées au contexte de la conversation en cours. L'architecture modulaire du système repose sur une API unifiée, qui intègre de manière transparente diverses bibliothèques de traitement du langage naturel (NLP) et d'apprentissage automatique (ML)<sup>9</sup>. Notamment, RASA adopte une approche distincte, prédisant les "étiquettes de créneaux" et les "valeurs de créneaux" dans l'entrée de l'utilisateur plutôt que de s'appuyer sur une analyse séquentielle traditionnelle des mots. Cette étude étend l'application du Chatbot développé dans le cadre du projet PERSIST<sup>10</sup>, contribuant à la création d'une plateforme conversationnelle de prise de rendez-vous. L'application mobile facilite l'interaction de l'utilisateur avec l'agent conversationnel par le biais d'une API, en présentant les créneaux de rendez-vous disponibles. Grâce à des conversations guidées, les utilisateurs peuvent naviguer efficacement et sélectionner l'heure de rendez-vous qui leur convient le mieux. Cette recherche souligne l'utilisation innovante du cadre RASA dans le développement d'une plateforme conversationnelle multilingue, mettant en évidence ses applications potentielles dans l'amélioration de l'engagement de l'utilisateur et de l'accessibilité

### 3.5 Protocole de Validation

Dans un premier temps, le logiciel a été testé avec des données de patientes atteintes de cancer du sein. Trois modalités de traitements ont été prises en considération : (1) 5 irradiations avec inspiration profonde bloquée, (2) 5 irradiations sans inspiration profonde bloquée (3) 5 patientes traitées avec plus de 5 irradiations. Pour générer les RDV, les données se trouvant dans la prescription d'irradiation ont été introduites dans le logiciel. Cinq patientes par modalité de traitement ont été testées. Le logiciel a généré les RDV de chaque patiente en 2 secondes et a tenu compte de tous ses autres RDV fixés par d'autres unités de l'hôpital. Deux coordinateurs de RDV ont vérifié que les RDV proposés aux patientes par le logiciel planificateur suivaient les règles imposées par l'hôpital.

## 4. Résultats.

Le logiciel planificateur suit les règles imposées par l'hôpital dans les 3 modalités de traitement d'irradiation d'un cancer du sein. La performance du logiciel est accompagnée d'une grande vitesse d'exécution car 2 à 15 secondes sont suffisantes pour générer les RDV des patientes. A titre de comparaison, ce même travail prend aux coordinateurs de RDV au moins 20 min.

### 4.1 Etude comparative avec des données prospectives

Nous présenterons les résultats d'une étude comparative entre les planifications de RDV générées par deux personnels administratifs (coordinateurs de RDV) et le logiciel planificateur. Cette étude sera réalisée à partir des données prospectives de patients en attente de leur planification de RDV pour débuter leurs irradiations. L'étude inclura 20 patientes atteintes d'un cancer du sein et 20 patients atteints d'un cancer du poumon entre février et mai 2024. Ce dernier groupe devra comprendre des patients qui seront traités par de la radiothérapie et de la chimiothérapie concomitantes. Les 40 patients enrôlés devront posséder des capacités cognitives suffisantes leur permettant d'accepter ou de refuser des changements de RDV à travers d'une application mobile. L'étude s'étendra sur une période de 3 mois et se terminera en avril 2024.

Lors de l'inclusion, les patients seront invités à répondre à un questionnaire évaluant leur perception quant à l'utilisation du logiciel planificateur et du Chatbot. A la fin de l'étude, un autre questionnaire mesurera leur satisfaction quant à ces deux solutions digitales. Un questionnaire sera également proposé aux radiothérapeutes et aux coordinateurs de RDV pour déterminer le degré d'utilisabilité qu'ils confèrent au logiciel planificateur.

La planification des 40 patients générée par le logiciel planificateur sera comparée indépendamment par deux radiothérapeutes et 2 coordinateurs de RDV.

De plus, plusieurs indicateurs de performance seront analysés pour estimer la différence entre la pratique actuelle et celle du logiciel d'IA de planification (Tableau 2).

Indicateurs de Performance	Mesure de planification manuelle
Nombre de variables identifiées pour établir le logiciel de planification de RDV	17
Temps pour planifier une série de soins par le personnel administratif (une seule tumeur du sein)	20 min
Temps pour planifier une série de soins par le personnel administratif (tumeurs du sein bilatérales)	23 min
Temps pour planifier une série de soins par le personnel administratif (tumeur du poumon sans chimiothérapie)	30 min
Temps pour planifier une série de soins par le personnel administratif (tumeur du poumon avec chimiothérapie)	45 min

Temps pour planifier une série de soins par le personnel administratif (Métastases osseuse)	6 min
Nombre moyen de semaines de radiothérapie pour un cancer du poumon (33 irradiations, données année 2019)	7 semaines/ traitement
Nombre moyen de consultations dans le service de radiothérapie pour un cancer du poumon (33 irradiations, données année 2019)	<sup>8</sup> consultations/ traitement
Nombre moyen de semaines de radiothérapie pour un cancer du sein (15 irradiations, données année 2019)	5,5 semaines/traitement
Nombre moyen de consultations dans le service de radiothérapie pour un cancer du sein (15 irradiations, données année 2019)	5,5 consultations/traitement
Nb de patients atteints d'un cancer du poumon planifiés avec cette technologie par an (données 2019 pour les patients avec 33 irradiations)	103 patients/ année
Nb de patientes atteints d'un cancer du sein planifiés avec cette technologie par an (données 2019)	591 patientes/ année
Nb de patients atteints d'une métastase osseuse planifiés avec cette technologie par an (données 2019)	150 patients/ année
Ressources humaines dans le service de Radiothérapie du CHU de Liège	Radiothérapeutes n= 17 Physiciens n= 8 Infirmiers/ères n= 43 Dosimétristes n=6 Techniciens n=2 Coordinateurs RDV n= 3

Tableau 2 Indicateurs de performance qui seront évalués à la fin de l'étude clinique.

## 5. Conclusion

Les tests préliminaires avec des données rétrospectives montrent que le logiciel planificateur est tout aussi performant que le personnel administratif pour générer des RDV liés au traitement de radiothérapie. Ce logiciel respecte la planification des RDV imposée par les divers protocoles d'irradiation. Il tient également compte des jours de manutention des machines et des horaires des soignants afin de maximiser le travail des ressources humaines tout en assurant le bien-être à l'hôpital. Le temps nécessaire à transfert des données patients de différents logiciels de l'hôpital vers le logiciel planificateur est actuellement estimé entre 1 à 5 min. Une fois que ces données acquises, logiciel planificateur est capable de générer très rapidement (2 à 15 secondes) la planification des RDV de chaque patient.

Actuellement, 17 variables liées aux patients et aux ressources humaines et matérielles sont prises en compte par le logiciel planificateur. En ajoutant des nouvelles variables (25-30 au total), une deuxième version améliorée du logiciel devrait rendre le traitement encore plus personnalisé, augmenter davantage la satisfaction des patients et du personnel de la santé et maximiser les ressources hospitalières afin de diminuer les coûts en santé liés à la radiothérapie.

Confrontés à la crise économique que traversent les hôpitaux européens, des outils, comme le présent logiciel, permettront d'alléger la tâche du personnel existant sans devoir augmenter le cadre administratif dans les années à venir qui seront marquées par une augmentation des diagnostics de cancer.

Même si actuellement ce n'est pas le cas, ce type de logiciel devrait permettre dans le futur de faire plus facilement face à la pénurie d'infirmier(e)s car il devrait pouvoir intégrer dans sa planification les absences de longue durée souvent dues à un travail physiquement lourd et émotionnellement difficile.

Le logiciel a été le résultat d'une co-crédation entre Instituto Tecnológico de Castilla y León (ITCL, Espagne) et le CHU de Liège (Belgique) dans le cadre d'un financement de la Commission Européenne ; projet H2020 Recherche et Innovation HosmartAI (Grant Agreement number: 101016834)

## 6. Reference

1. Ferlay, J. *et al.* Cancer statistics for the year 2020: An overview. *Int J Cancer* **149**, 778–789 (2021).
2. Lievens, Y., Borrás, J. M. & Grau, C. Provision and use of radiotherapy in Europe. *Mol Oncol* **14**, 1461–1469 (2020).
3. Abdel-Razeq, H., Mansour, A., Edaily, S. & Dayyat, A. Delays in Initiating Anti-Cancer Therapy for Early-Stage Breast Cancer—How Slow Can We Go? *Journal of Clinical Medicine* vol. 12 Preprint at <https://doi.org/10.3390/jcm12134502> (2023).
4. Huang, J., Barbera, L., Brouwers, M., Browman, G. & Mackillop, W. J. Does Delay in Starting Treatment Affect the Outcomes of Radiotherapy? A Systematic Review. <https://doi.org/10.1200/JCO.2003.04.171> **21**, 555–563 (2016).
5. Cucchiaro, S. *et al.* Crossover of the patient satisfaction surveys, adverse events and patient complaints for continuous improvement in radiotherapy department. *International Journal for Quality in Health Care* **34**, (2022).
6. Ferreira, D. C., Vieira, I., Pedro, M. I., Caldas, P. & Varela, M. Patient Satisfaction with Healthcare Services and the Techniques Used for its Assessment: A Systematic Literature Review and a Bibliometric Analysis. *Healthcare (Switzerland)* vol. 11 Preprint at <https://doi.org/10.3390/healthcare11050639> (2023).
7. Gavurova, B., Dvorsky, J. & Popesko, B. Patient satisfaction determinants of inpatient healthcare. *Int J Environ Res Public Health* **18**, (2021).
8. Bocklisch T, Faulkner J, Pawlowski N and Nichol A 2017 Rasa: Open Source Language Understanding and Dialogue Management arXiv: Computation and Language
9. Desot T, Raimondo S, Mishakova A, Portet F and Vacher M 2018, September Towards a French Smart-Home Voice Command Corpus: Design and NLU Experiments C. text speech and dialog.
10. Mlakar, I.; Šafran, V.; Hari, D.; Rojc, M.; Alankus, G.; Pérez Luna, R.; Ariöz, U. Multilingual Conversational Systems to Drive the Collection of Patient-Reported Outcomes and Integration into Clinical Workflows. *Symmetry* 2021, **13**, 1187.