

Scanner synthétique :  
une nouvelle technologie

L'anatomopathologie, une  
spécialité qui se digitalise

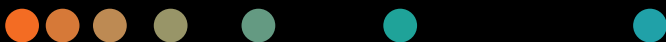
La ré-irradiation,  
une technique de pointe

# ARIAS

magazine Actions et Réflexions sur l'Intelligence Artificielle en Santé



## L'IA révolutionne la planification de la radiothérapie



05 **À la Une**

**L'IA révolutionne la planification de la radiothérapie**

L'IA permet aujourd'hui d'améliorer la planification et donc, in fine, la qualité et l'efficacité du traitement. Explications avec Stéphane Muraro.

10 **Data focus**

**Scanner synthétique : une nouvelle technologie**

Aujourd'hui il est possible d'acquérir une image d'IRM puis à la transformer grâce à l'IA en une image de scanner synthétique. Le point avec Dr Charlotte Robert.

12 **À venir**

**L'anatomopathologie, une spécialité qui se digitalise**

Lancée en 2023, où en est aujourd'hui la digitalisation de l'anapath ? Et quels sont les potentiels apports de l'IA dans cette spécialité ? Éléments de réponse avec Pr Julien Calderaro.

14 **Grand angle**

**La ré-irradiation : une technique de pointe pour repousser sans cesse les limites dans la lutte contre le cancer**

L'essor de l'IA a ouvert de nouvelles perspectives en matière de ré-irradiation. Le point avec Dr Caroline Daveau et Charbel Kassis.

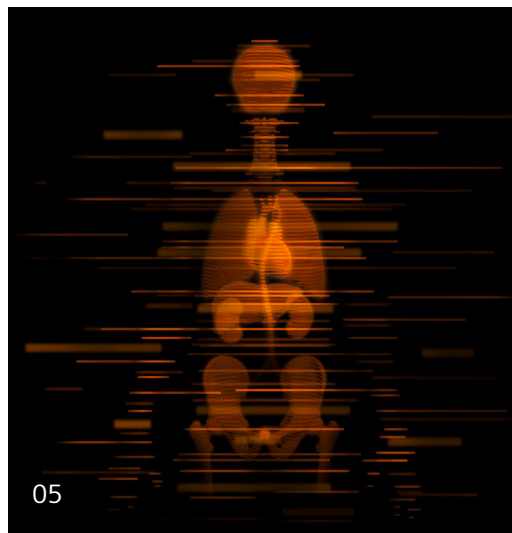
16 **Grand angle**

**Radiothérapie adaptative : au plus près de l'anatomie du patient**

Le point sur cette nouvelle approche et le rôle que joue l'IA mais aussi ses limites avec le Professeur Florence Huguet et Alexandre Orthuon.

18 **Panorama**

IA et expérience patient chez Siemens Healthineers



# L'Intelligence Artificielle au service d'une radiothérapie de pointe

par Hassan Safer-Tebbi

Depuis l'acquisition de la société Varian, Siemens Healthineers est devenu un acteur notable de la prise en charge globale du cancer. Nous sommes aujourd'hui capables de proposer une gamme complète de solutions et de services pour accompagner les patients atteints de cancer tout au long de leur parcours : de la prévention au suivi en passant par le diagnostic et le traitement.

Or, l'Intelligence Artificielle (IA) est en train de révolutionner l'oncologie et les traitements contre le cancer, la radiothérapie en tête.

Ainsi, en anatomopathologie, discipline à la base du diagnostic et de la décision thérapeutique en oncologie, l'IA ouvre de belles perspectives en termes d'aide au diagnostic, d'automatisation mais aussi de prédiction.

Des logiciels dotés d'IA révolutionnent également la planification de la radiothérapie, déchargeant les professionnels des tâches

les plus chronophages. La planification est également améliorée grâce à l'émergence des « images scanners dits synthétiques », réalisées à partir d'une acquisition IRM grâce à l'IA.

Le traitement du patient en tant que tel bénéficie également des avancées de l'IA. Ainsi, la radiothérapie adaptative, qui prend en compte les variations anatomiques du patient en cours de traitement, permet de recalculer la dose avant chaque séance pour être au plus près de son anatomie grâce à un contourage automatique. De même, l'IA permet d'envisager désormais des épisodes de ré-irradiations, et ce, de manière plus sécurisée. Cette technique devient de plus en plus nécessaire pour les patients dont l'espérance de vie s'allonge, tout en limitant les effets indésirables et les complications.

Les bénéfices sont nombreux sur tous les plans : gain de précision et réduction des incertitudes, reproductibilité, optimisation des flux, prises en charge accélérées, réduction du nombre d'examens, amélioration du confort et de la tolérance du patient... Et surtout, à la fin, une augmentation de la qualité et de l'efficacité du soin en oncologie.

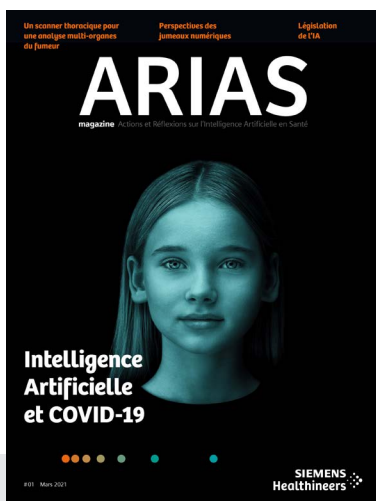
C'est au service de tout cela que Siemens Healthineers met toute son expertise. Nos solutions innovantes n'ont qu'une seule finalité : porter haut notre vision d'un monde sans peur du cancer.

Hassan Safer-Tebbi,  
Président de Siemens Healthineers  
France, Belgique et Luxembourg



# (Re)-Découvrez les précédents numéros du Magazine ARIAS

Téléchargez-les sur notre site web  
ou demandez-nous des exemplaires imprimés.  
[siemens-healthineers.com/fr/news-and-events/arias-magazine](https://siemens-healthineers.com/fr/news-and-events/arias-magazine)



## Numéro #1

Ce premier numéro s'inscrit dans le cadre de la crise du COVID-19. Les organisations ont dû accélérer le développement d'outils enrichis par l'IA pour permettre le diagnostic, la planification thérapeutique et le suivi des patients. Mais là où une course à la technologie et aux données s'installe, la législation se renforce, empreinte d'enjeux de souveraineté entre les grandes puissances mondiales...

## Numéro #2

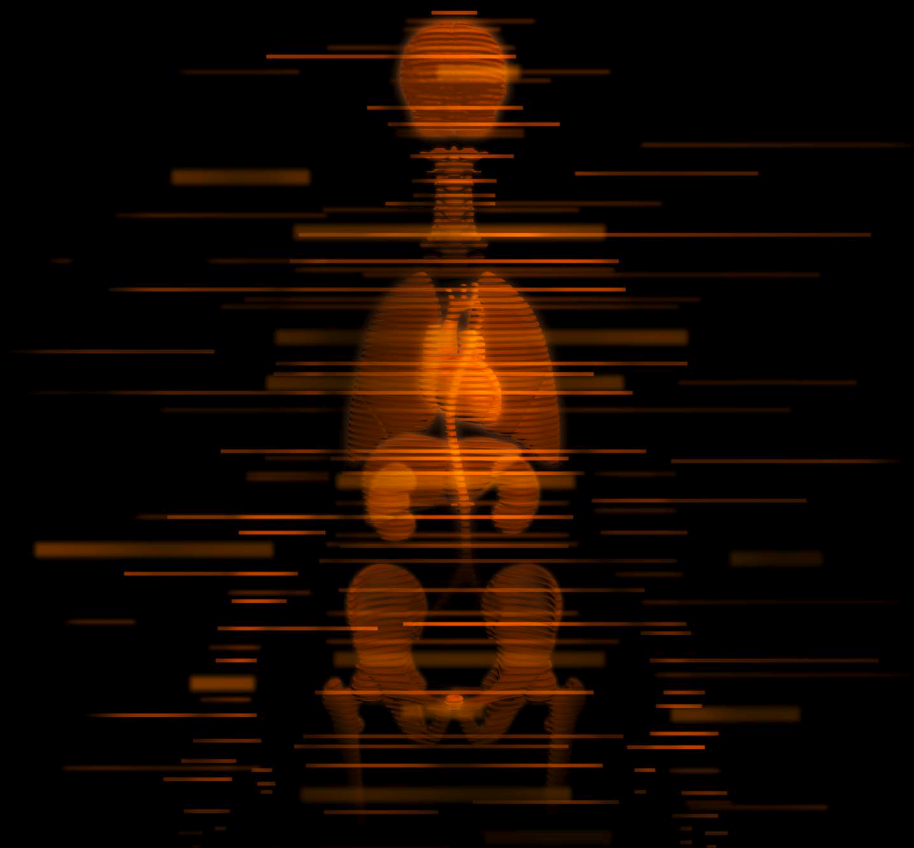
Dans ce deuxième numéro quatre domaines sont abordés : la neuroradiologie interventionnelle et l'IA, les biais de l'Intelligence Artificielle en imagerie, l'optimisation du dépistage du cancer du sein grâce à l'IA et l'IA, alliée précieuse en radiothérapie...



## Numéro #3

Ce troisième numéro ouvre les réflexions sur l'Intelligence Artificielle en imagerie cardiaque.

Comment cela se traduit-il en pratique ? Quels bénéfices l'intégration de l'IA en imagerie cardiovasculaire porte-t-elle tant pour les professionnels de santé que pour les patients et le système dans son ensemble ?...



# L'IA révolutionne la planification de la radiothérapie

*L'Intelligence Artificielle (IA) est en train de révolutionner la prise en charge du cancer et la radiothérapie n'y échappe pas. Les avancées liées à l'IA sont d'autant plus importantes pour ce domaine médical qu'il est hautement technique et complexe et repose, comme l'imagerie médicale, sur la collecte et le traitement de grandes quantités de données.*

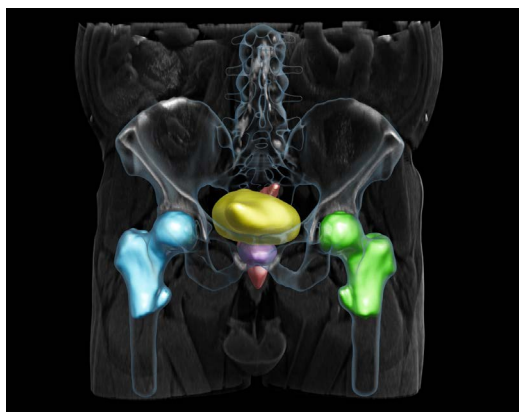
*Un enjeu parfaitement compris par les industriels du secteur qui développent depuis plusieurs années des logiciels dotés d'IA : ces outils permettent à la fois de décharger les professionnels de la radiothérapie de leurs tâches les plus chronophages mais également d'améliorer la planification du traitement et donc, in fine, sa qualité et son efficacité.*

*Explications avec Stéphane Muraro, Responsable de l'Unité de physique médicale du Centre de cancérologie du Grand Montpellier.*



## Planification de la radiothérapie : de quoi parle-t-on ?

Un traitement de radiothérapie ne saurait être initié sans une étape de planification qui repose sur un examen d'imagerie. Pour réaliser une planimétrie précise, l'examen indispensable est la tomодensitométrie (scanner). Ce scanner peut être effectué de différentes manières : en acquisition simple, en SlowCT (acquisition lente), ou en 4D (scanner dynamique) pour permettre la visualisation des mouvements des structures internes, notamment des lésions, au cours du cycle respiratoire. Les données fournies par ce scanner peuvent être complétées par celles d'autres examens diagnostiques réalisés en complément (IRM, PET scan...). L'étape dite de contourage ou de délinéation permet de repérer les zones à irradier et la dose d'irradiation ainsi que les zones à préserver au maximum, autrement dit les organes à risque situés à proximité. Le plan de traitement issu de cette phase de planification est le fruit d'un travail étroit entre radiothérapeutes, médecins médicaux et dosimétristes. L'objectif est de parvenir au meilleur compromis pour chaque patient entre la dose d'irradiation délivrée sur la lésion et celle reçue par les organes à risque.



Crédit : MVZ InnMed Oberaudorf, Allemagne

## Le contourage, la base de tout

Traditionnellement, la délimitation de la tumeur et des organes à risque est réalisée manuellement par le radiothérapeute. Une tâche chronophage, fastidieuse mais néanmoins cruciale comme le souligne Stéphane Muraro, responsable de l'Unité de physique médicale du Centre de cancérologie du Grand Montpellier :

*« Tout part du scanner et du contourage. S'ils ne sont pas bien réalisés, ils peuvent nuire à la pertinence du traitement. »*

En effet, un manque de précision dans la délimitation de la tumeur peut entraîner un sous-dosage – ce qui va diminuer l'efficacité du traitement – ou, au contraire, un surdosage et, donc, une augmentation de la toxicité. De même, une segmentation des organes à risque peu précise augmente la probabilité de délivrer une dose d'irradiation trop élevée. En outre, la délinéation réalisée manuellement peut varier d'un professionnel à un autre selon son expérience, ses pratiques, les habitudes de l'établissement, etc. Conséquence : une variabilité des plans de traitements qui peut avoir une incidence sur la qualité de la prise en charge.

## Les logiciels dotés d'IA changent la donne

Mais l'arrivée, depuis le début des années 2020, de logiciels basés sur l'IA est en passe de changer la donne en matière de planification de la radiothérapie. *« Ces outils sont dotés d'algorithmes qui permettent d'ores et déjà de faire du contourage automatique et, donc, d'adapter le traitement très rapidement derrière »,* explique Stéphane Muraro qui ajoute cependant : *« Si c'est déjà une réalité dans certains centres, ce n'est pas encore le cas pour tous les patients car cela demande encore la mobilisation de nombreuses ressources, à la fois humaines et temporelles. Mais on tend à une généralisation de ces outils et à une accélération de leurs performances en termes de rapidité et de précision. A titre d'exemple, depuis plus d'un an, nos patients bénéficient de ces innovations et leur prise en charge a déjà évoluée. Et cela va encore s'accroître dans les quatre ou cinq années à venir ».*

## Gagner du temps pour gagner en survie

Pour l'expert, cela ne fait aucun doute, les logiciels dotés d'IA vont révolutionner la planification de la radiothérapie, à commencer par le temps nécessaire à la réalisation de certaines tâches : *« Ce sont des outils précieux pour tous les professionnels de la radiothérapie et, dans peu de temps, certaines tâches qui nécessitent au moins un quart d'heure*

aujourd'hui ne demanderont plus qu'une ou deux minutes ! »

Des bénéfices particulièrement flagrants au niveau du contournage : « Par exemple, la zone ORL est l'une des plus compliquées à contourner notamment en raison des structures ganglionnaires, illustre Stéphane Muraro. Une segmentation manuelle demande environ une heure et demie. Avec l'aide des logiciels, le spécialiste n'a besoin que de 10 ou 15 minutes ! »

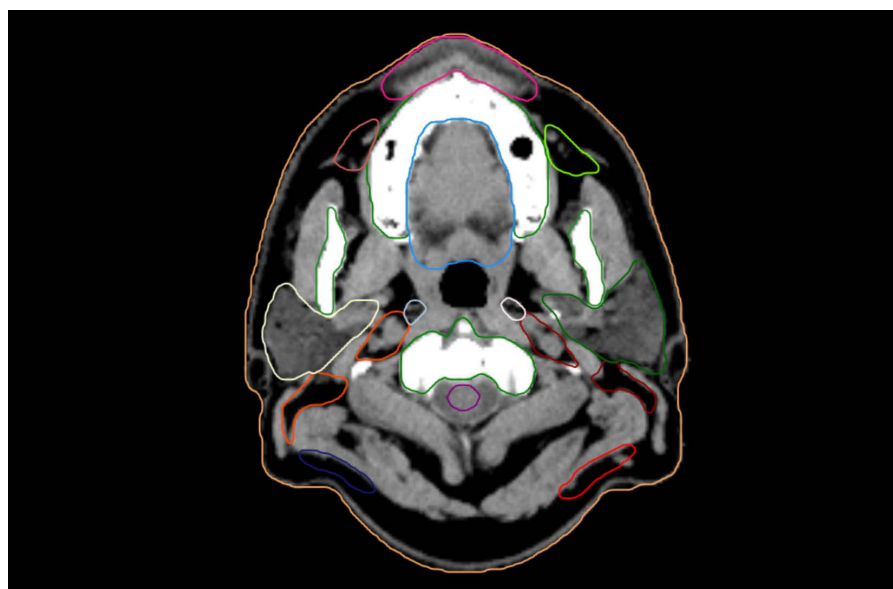
Et le gain de temps réalisé à cette étape située en amont du traitement se répercute positivement sur les étapes suivantes. « On sait par exemple qu'une tumeur encéphalique peut varier en cinq jours, poursuit Stéphane Muraro. Par conséquent, plus rapide est le contournage, plus tôt démarre le traitement et donc, plus les chances de survie du patient augmentent. Gagner du temps sur le contournage fait gagner du temps sur toute la chaîne de traitement. »

## Des modèles homogènes pour une meilleure reproductibilité

Les algorithmes d'Intelligence Artificielle permettent d'améliorer la reproductibilité et l'automatisation dans l'optimisation des dosimétries, notamment grâce à des logiciels capables de créer des bibliothèques de modèles basés sur l'expérience clinique. « Cependant, pour que cela soit efficace, il est nécessaire que tous les organes soient segmentés de manière homogène », souligne Stéphane Muraro. Il y a encore quelques années, les contours d'un même organe, tracés manuellement pour différents patients, présentaient des variations importantes. Les logiciels d'IA permettent désormais d'optimiser ces contours, créant ainsi une bibliothèque commune, ce qui améliore la précision de l'optimisation. Pour parvenir à cette uniformité, il a été nécessaire de resegmenter tous les organes, recalculer les dosimétries, puis intégrer ces données dans le logiciel afin de constituer une bibliothèque homogène. Cette uniformisation des contours contribue à une dosimétrie plus précise. Une tâche fastidieuse, voire impossible à réaliser manuellement, mais désormais facilitée par les solutions d'IA.

## Considérer les métiers de la radiothérapie sous un autre jour

Que cela soit sur le plan humain, technique ou financier, la mise en place et la prise en main de logiciels dotés d'IA nécessitent donc des ressources. Mais l'intégration de ces outils n'est pas sans modifier également les flux de travail, les pratiques et même les rôles des professionnels de la radiothérapie : « Cela concerne en premier lieu ceux qui font beaucoup de tâches répétitives et chronophages, relate Stéphane Muraro. À mon sens, les métiers de dosimétriste et de physicien médical vont fortement évoluer à court terme. Nos nouveaux métiers vont consister à vérifier la planification et à établir des panels de plans de traitement : ainsi, au lieu d'avoir un seul plan de traitement, le logiciel nous en proposera plusieurs et ce sera au physicien ou au dosimétriste de choisir dans ce panel celui qui lui semblera le plus adapté et ce, en fonction de la zone à irradier, la manière de travailler des professionnels de santé et des pratiques de l'établissement. L'IA sera à-même de nous proposer différents plans, du plus simple au plus complexe, pour avoir la meilleure couverture possible et une optimisation de tous les volumes. Au lieu de changer de plans, l'objectif est d'avoir le choix dès le départ. Il y a donc un travail de vérification de la qualité des plans proposés par l'IA qui entraînera une expertise accrue, personnalisée et précise pour chaque patient. Cela se fait déjà dans certains centres et, dans les années à venir, ce sera le cas partout. »



Courtesy of Leopoldina-Krankenhaus der Stadt Schweinfurt GmbH, Schweinfurt, Germany

## Une formation qui doit également évoluer

Ces nouvelles pratiques ne seront pas sans nécessiter une adaptation de la formation des professionnels de la radiothérapie. Ils devront, par exemple, se familiariser avec la manipulation et l'interprétation de vastes quantités de données sur lesquelles seront fondées les décisions cliniques.

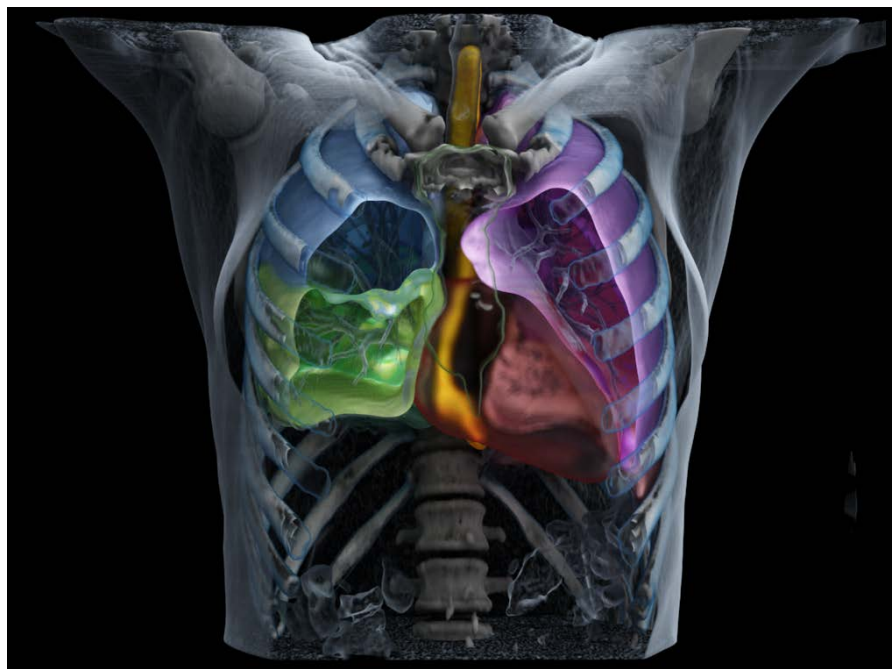
Stéphane Muraro souligne également la nécessité de former les équipes sur les aspects post-contourage et adaptatifs, notamment sur la capacité à sélectionner le plan de traitement optimal après une adaptation en fonction de l'évolution du patient. Grâce aux gains de temps offerts par les technologies récentes, un CBCT (Cone Beam Computed Tomography ou scanner 3D) sera traité comme un nouveau scanner, permettant de générer un nouveau plan de traitement toutes les quinze minutes, voire moins, dans un futur proche. Bien que le radiothérapeute reste responsable de la validation finale du plan de traitement, les physiciens médicaux et les dosimétristes et les manipulateurs (par la suite) joueront un rôle crucial pour faciliter la décision. Leur collaboration forme un véritable binôme ou trinôme, avec une complémentarité essentielle entre ces différents professionnels. Il est donc impératif que tous les métiers impliqués dans ce processus bénéficient d'une formation adaptée pour garantir l'efficacité et la cohérence du traitement.



**Stéphane Muraro**  
Responsable de l'Unité  
de physique médicale  
du Centre de cancérologie  
du Grand Montpellier

## Des solutions toujours et encore au service des patients

Les logiciels dotés d'IA sont effectivement en train de révolutionner l'approche de la planification en radiothérapie ainsi que l'organisation des services comme les compétences à acquérir pour les professionnels concernés. Ces évolutions ont donc un impact avant tout positif : réduction des coûts, montée en expertise, gain de temps, diminution des tâches chronophages au profit de celles à forte valeur-ajoutée... « Et surtout, in fine, une amélioration de la qualité des soins, conclut Stéphane Muraro. Ces solutions d'IA, en ce qu'elles entraîneront une standardisation de la planification, permettront de proposer des prises en charge d'égale qualité à tous les patients, y compris ceux qui vivent dans des zones sous-dotées en professionnels de la radiothérapie experts. Le but, c'est d'arriver au même résultat pour tous les patients : comme toujours, ce sont eux qui doivent être au centre des préoccupations et toutes les améliorations technologiques doivent permettre de leur offrir le meilleur traitement et la meilleure prise en charge. »



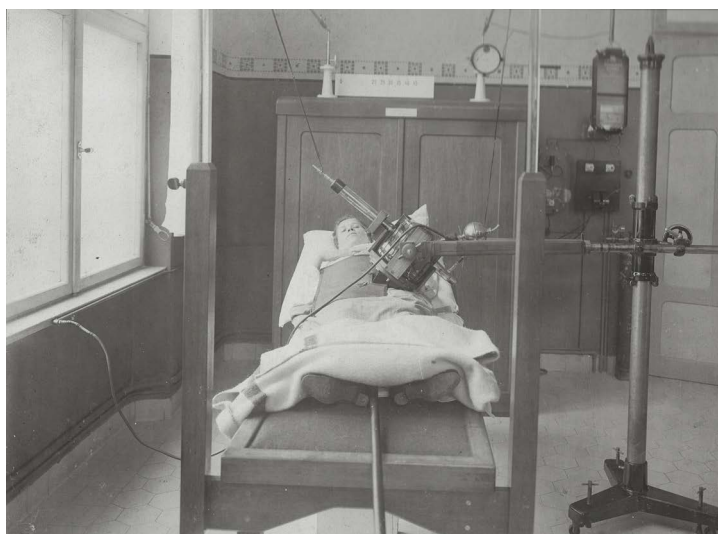
Courtesy of Radiologische Allianz Hamburg, Germany

<sup>1</sup> Cone Beam Computer Tomography, imageries tridimensionnelles fondées sur l'analyse numérique de l'absorption d'un faisceau conique



## Quels impacts pour les autres étapes de la radiothérapie ?

Si les bénéfices des logiciels dotés d'IA sont flagrants pour la planification, ils sont également porteurs d'amélioration pour les autres étapes du traitement. Ainsi, la prise de décision et l'évaluation du patient reposent sur une grande quantité de données propres à chaque patient (symptômes, antécédents, données pathologiques et génomiques, comorbidités, risques de toxicité, etc.). Les algorithmes d'IA, capables d'extraire les données cliniques essentielles, participeront à la prise de décision initiale. En amont de la planification, la simulation pourrait également être grandement modifiée par les outils d'IA. Cette étape repose en effet sur l'acquisition d'images qui permettront de formuler le plan de traitement, acquisition qui peut s'avérer complexe notamment selon le site de la tumeur et en raison des contraintes techniques. Là encore, des outils d'IA pourraient permettre de prévoir, réduire voire contourner certains de ces obstacles. Également, la généralisation d'un examen IRM avec reconstruction d'images dites « scanner synthétiques », qui offre les caractéristiques (et avantages) du scanner et de l'IRM, participera à l'optimisation de cette phase préalable à la planification (voir article).



Irradiation d'un carcinome du col de l'utérus à l'aide de l'appareil Symmetrie, 1918



Boîte d'irradiation Siemens utilisée avec un appareil Multivolt, 1920

Source : Huynh, E., Hosny, A., Guthier, C., Bitterman, D. S., Petit, S. E., Haas-Kogan, D. A., Kann, B., Aerts, H. J. W. L., & Mak, R. H. (2020). Artificial intelligence in radiation oncology. *Nature Reviews Clinical Oncology*, 17(12), 771-781. <https://doi.org/10.1038/s41571-020-0417-8>

Images historiques : Copyright

Les images historiques de Siemens Healthineers ne peuvent être utilisées qu'à des fins éditoriales et scientifiques/académiques. Tous les droits d'auteur appartiennent à Siemens Healthineers AG, Forchheim, sauf mention contraire explicite d'un autre détenteur de droits. Les droits d'auteur demeurent inchangés même si les documents sont intégrés dans une archive, qu'elle soit électronique ou manuelle.

Les documents utilisés à des fins éditoriales et scientifiques, modifiés, reproduits et/ou modifiés électroniquement doivent porter la mention : « Siemens Healthineers Historical Institute ».

Toute utilisation commerciale ou vente des documents et données, même sous une forme modifiée électroniquement, est interdite.

Des restrictions spécifiques concernant l'utilisation des images peuvent découler de la légende de l'image.

Les images peuvent être imprimées gratuitement, mais dans le cas de publications imprimées, nous apprécierions recevoir un exemplaire pour nos archives. Si les images ou vidéos sont utilisées dans des films ou des médias électroniques, une brève notification suffira.

# Scanner synthétique : une nouvelle technologie

Il y a du nouveau du côté des techniques d'imagerie utilisées pour la planification du traitement des tumeurs cancéreuses par radiothérapie. Dernière innovation en date : le scanner dit synthétique réalisé à partir d'une acquisition IRM transformée en image scanner grâce à l'Intelligence Artificielle. Le point avec Docteur Charlotte Robert, physicienne médicale à Gustave Roussy, chercheuse et maîtresse de conférences en physique médicale à l'Université Paris-Saclay.

## Contexte

Traditionnellement, la planification d'une radiothérapie est réalisée à partir d'un scanner, « la modalité d'imagerie essentielle pour accéder aux densités électroniques nous permettant d'évaluer les dépôts d'énergie dans les tissus des patients », explique Dr Charlotte Robert, chercheuse et physicienne médicale à Gustave Roussy. Cependant, pour les tissus mous, il est difficile de différencier les tumeurs des tissus sains sur une image scanner. Le recours à une IRM peut être essentiel pour déterminer le volume à irradier en fonction de la localisation tumorale. Néanmoins, pour pouvoir l'exploiter dans le cadre d'une radiothérapie, il faut idéalement que cette image soit acquise dans les mêmes conditions que celles d'un scanner de planification puis il faut fusionner les images IRM et scanner. Cela nécessite donc deux acquisitions avec ce que cela induit en termes de coûts, de temps additionnel, d'inconfort pour les patients et de mobilisation des services d'imagerie déjà surchargés.

## Optimiser la planification de la radiothérapie

Pour contourner ces difficultés, une nouvelle technologie est désormais disponible : elle consiste à acquérir une image d'IRM avec une séquence spécifique puis à la transformer grâce à l'IA en une image de scanner synthétique permettant de reconstruire les tissus mous, les os, les cavités aériques, etc. sans passer par l'acquisition effective d'une image scanner. À Gustave Roussy, des travaux sont menés sur cette nouvelle approche depuis 2018. L'objectif ? « Chercher à supprimer le scanner de planification », explique Dr Charlotte Robert. *Nous avons déjà fait un essai clinique prospectif pour valider cette utilisation pour les tumeurs cérébrales.* » Dans cette optique, le service de radiothérapie de Gustave Roussy a d'ailleurs investi à l'été 2024 dans une IRM dédiée à la préparation du traitement afin de « générer de façon automatique cette image de scanner synthétique qui reste essentielle pour le calcul de la dose », poursuit la physicienne.

## Une technologie rendue possible grâce au deep learning

Ce scanner synthétique est le résultat d'algorithmes entraînés grâce à des méthodes de deep learning. La technologie a ainsi été mise au point sur la base d'une très grande quantité d'images IRM et de scanner, acquises dans les mêmes conditions et bénéficiant des progrès réalisés en matière d'IA ces dernières années. « Lorsque nous avons commencé à constituer des cohortes en 2018, les réseaux neuronaux utilisés nécessitaient des bases de données appariées ce qui demandait d'avoir le scanner et l'IRM dans le même repère, se souvient Dr Charlotte Robert. Désormais, on recourt à des réseaux génératifs antagonistes (ou Generative Adversarial Networks dits GAN)<sup>1</sup> de type CycleGAN qui ne demandent plus d'avoir des données appariées. Cela nous permet d'avoir accès à une plus grande quantité de données tout en évitant les incertitudes liées au recalage des images IRM et scanner dans le même repère qui pourraient impacter le résultat de l'apprentissage. » Et aujourd'hui, en effet, la marge d'erreur est infime et le gain en performance, élevé, grâce à la quantité considérable de données collectées pour l'apprentissage.

## Réduire le nombre d'examens et les marges d'erreur

À terme, il n'y aura donc plus qu'une seule technique et un seul examen. « Avec une acquisition en moins, le confort du patient est amélioré, détaille Docteur Robert. C'est également bénéfique pour les établissements puisque le circuit de planification des examens est réduit ». La prise en charge des patients est ainsi accélérée tout en réduisant le nombre d'examens. Selon les estimations menées dans le département de radiothérapie de Gustave Roussy, plus de la moitié des

patients qui y sont traités pourrait bénéficier de ce workflow : « sachant que l'on prend en charge environ 4500 patients par an, cela représente une diminution drastique du nombre d'examens de scanner ».

Mais plus encore, la suppression de la fusion d'images doit permettre de limiter les incertitudes de ciblage : « Aujourd'hui, ces incertitudes sont considérées par l'application de marges des traitements de radiothérapie, explique Dr Charlotte Robert. On applique des marges autour des volumes cibles pour s'assurer que l'on cible bien la lésion à traiter à chaque séance. Et en supprimant les incertitudes de recalage entre les images, on pourrait diminuer un peu ces marges et, par conséquent, les toxicités puisque l'on irradierait un peu moins des tissus sains avoisinant les lésions. »

## Des changements qui nécessitent acculturation et accompagnement

Si les bénéfices paraissent donc importants, cette nouvelle technologie entraîne néanmoins des changements de grande ampleur dans la prise en charge des patients mais aussi dans les pratiques cliniques courantes. Pour Docteur Robert, qui est également enseignante, « traditionnellement, le scanner de planification est enseigné comme étant la brique essentielle pour la planification des traitements de radiothérapie. Avec le scanner synthétique, on change complètement les paradigmes puisque cette image essentielle est générée par Intelligence Artificielle ». Par ailleurs, les outils basés sur l'IA et utilisés aujourd'hui en pratique clinique pour la segmentation ou la planification automatique demandent une validation humaine : « l'image scanographique générée par l'IA permet d'évaluer les doses reçues par le patient sachant que le traitement doit répondre à 5% près à la dose prescrite par l'oncologue

radiothérapeute, rappelle Dr Charlotte Robert. Mais il va falloir convaincre tout le monde que le risque est mineur : travaillant sur cette technique pour les tumeurs cérébrales depuis 5 ans, j'en suis moi-même convaincue mais, pour persuader mes collègues, une phase prospective d'évaluation des outils sera nécessaire. »

## Construire de bonnes pratiques

Il sera nécessaire d'établir une période durant laquelle seront réalisées des comparaisons dos à dos entre les calculs de dose obtenus à partir du scanner réel et ceux obtenus à partir du scanner synthétique pour prouver que le biais est moindre avec ce dernier. Des travaux sont d'ailleurs en cours au sein de l'ESTRO (European Society for Radiotherapy and Oncology). Docteur Robert participe à deux groupes de travail, l'un sur le scanner synthétique, l'autre sur l'implémentation de l'IA en clinique en radiothérapie : « l'objectif est d'établir une liste des données utilisées pour l'apprentissage de chaque modèle (nombre d'images

dans la cohorte d'apprentissage, caractéristiques cliniques des patients, séquences, paramètres, etc.) que l'industriel transmettrait à l'utilisateur pour commissionner correctement l'algorithme d'IA. Disposer du maximum d'informations participera à convaincre rapidement la communauté ».

Autre point d'attention : la question du contrôle qualité. « C'est tout de même la première fois qu'un traitement sera fondé sur une image synthétique, souligne Dr Charlotte Robert. Il est donc absolument nécessaire de définir un workflow sécuritaire et solide et de mettre au point un contrôle qualité patient par patient sans faille. »

<sup>1</sup> « les réseaux antagonistes génératifs reposent sur la combinaison et la mise en compétition de deux réseaux de neurones formels – l'un appelé discriminateur et l'autre générateur – qui sont entraînés par apprentissage profond. Le fonctionnement de l'ensemble se déroule en deux phases. » (Source : Encyclopædia Universalis)



Dr Charlotte Robert  
physicienne médicale à  
Gustave Roussy

## Une IRM dédiée pour une radiothérapie adaptative et plus efficace

Dans le service de radiothérapie de Gustave Roussy, où l'installation d'une IRM a été réalisée à l'été 2024, les attentes sont grandes : « cela va permettre de comprendre l'évolution de certaines tumeurs et, de ce fait, de personnaliser les traitements, explique Dr Charlotte Robert, physicienne médicale à Gustave Roussy où les données de quelques 1000 patients atteints de tumeurs cérébrales de haut grade, obtenues en plusieurs temps, ont été structurées. Notre objectif est de pouvoir identifier où vont rechuter ces patients. De fait, aujourd'hui, la plupart des patients rechutent dans le volume cible, ce qui signifie que l'on n'a pas réussi à stériliser la tumeur. Le but est donc de comprendre l'évolution des propriétés de la tumeur en cours de traitement et de ne plus irradier de façon homogène comme on le fait depuis de nombreuses années mais de procéder au contraire à des irradiations hétérogènes selon une prescription qui serait adaptée à chaque séance aux propriétés fonctionnelles de la tumeur. »

# L'anatomopathologie, une spécialité qui se digitalise

Au mois de juin 2023, le ministère de la Santé lançait une mission pour faciliter la numérisation de l'anatomopathologie (dite anapath), cette spécialité à la base du diagnostic et de la décision thérapeutique, notamment en oncologie. Une première enveloppe de 30 millions d'euros a été allouée pour accompagner les établissements de santé dans cette voie. Aujourd'hui, où en est la digitalisation de l'anapath ? Et quels sont les potentiels apports de l'Intelligence Artificielle (IA) dans cette spécialité ? Éléments de réponse avec Professeur Julien Calderaro, pathologiste à l'Hôpital Henri Mondor (AP-HP) et auteur de plusieurs études sur le recours à l'Intelligence Artificielle dans le diagnostic du cancer.

## La numérisation de l'anapath est amorcée au niveau international et européen. Où en est-on en France ?

**Pr. Julien Calderaro :** C'est un nouveau standard désormais intégré par tous car les centres ont bien compris que ne pas se digitaliser revient à se mettre dans une position très compliquée pour les années à venir. Il leur sera notamment difficile de recruter face à des concurrents avec des services d'anapath totalement digitalisés qui offriront des possibilités de télétravail, d'avis à distance, etc. On peut penser que, d'ici cinq ans, la digitalisation de la spécialité sera quasi-complète dans tous les CHU.

## Cela semble tardif au regard de certaines autres spécialités comme l'imagerie. Comment l'expliquer ?

**Pr. J. C. :** La digitalisation de notre spécialité s'est accélérée depuis une dizaine d'années. Ce retard s'explique par un premier facteur technique car les volumes de données à stocker en anapath sont considérables. Il a donc fallu attendre que les technologies le permettent, ce qui est désormais le cas. Un autre obstacle est d'ordre médico-économique. En effet, en anapath, il faut numériser la lame physique ce qui demande du temps et du travail supplémentaires sans entraîner d'économies directes. Cela a sans aucun doute été un autre frein à la digitalisation de notre spécialité.





## Quelles sont les potentialités de l'IA en anapath ?

Pr. J. C. : Elle peut permettre d'automatiser certaines tâches chronophages comme le passage en revue d'un très grand nombre de lames. L'IA peut également apporter une aide au diagnostic en nous orientant vers une zone prioritaire après avoir « pré-screené » une lame par exemple. Elle peut aussi servir de filet de sécurité, par exemple en attirant notre attention sur un élément qui aurait pu nous échapper. L'IA porte de belles possibilités en termes de prédiction, pour voir ce qui est trop subtil pour l'œil humain ou compenser une éventuelle variabilité entre les différents observateurs d'un cas.

## Que manque-t-il aujourd'hui pour que la digitalisation des services d'anatomopathologie réussisse ?

Pr. J. C. : La grande inconnue du modèle économique demeure. Dans notre spécialité, il va falloir non seulement trouver un moyen de financer cette digitalisation mais aussi que ses gains soient vraiment significatifs pour que l'investissement soit acceptable. L'usage de l'IA pour les biomarqueurs devrait être remboursé sans trop de difficultés étant donné le bénéfice dans la prise en charge des patients. Mais il faut trancher rapidement cette question du modèle économique au risque de voir les investisseurs s'en désintéresser. Les résultats des études médico-économiques menées auprès des premiers utilisateurs sont attendus d'ici peu : ce sont elles qui permettront de savoir si les modèles d'IA offrent vraiment des bénéfices en termes de temps, de ressources humaines, etc.

## Quelles perspectives l'IA ouvre-t-elle dans le domaine de la recherche ?

Pr. J. C. : Je pense que l'on a vraiment besoin de fluidifier les process légaux, notamment ceux de partage de données. Il est très compliqué de monter des projets de recherche alors même que différentes lois ont été prises afin de faciliter les études rétrospectives. Les délais pour échanger des données dans le cadre d'études multicentriques sont excessifs, parfois jusqu'à deux ans ! Et il est parfois quasiment impossible de sortir des données de certains hôpitaux... Tout cela affecte les protocoles de recherche. Il faut donc absolument parvenir à établir des process et des guidelines afin de ne pas devoir repartir de zéro à chaque fois.



Pr. Julien Calderaro,  
Pathologiste à l'Hôpital  
Henri Mondor (AP-HP)

## Les enjeux autour des données de santé en anatomopathologie

Les enjeux autour des données de santé anatomopathologiques sont divers.

Sur le sujet de leur stockage, rappelons qu'à l'heure actuelle les données de lames digitales sont détruites au bout d'un certain temps. Mais grâce aux progrès des systèmes de compression, « on peut penser que dans un futur relativement proche les degrés de compression seront suffisants pour pouvoir stocker l'ensemble des données digitales d'anapath sur le long terme ». Et de préciser cependant que, malgré ces progrès technologiques, « dans les spécialités comme l'anapath où les volumes de données ne sont pas compatibles avec un stockage systématique de l'intégralité des données, on procédera probablement via des stockages thématiques » par exemple par pathologie ou par spécialité.

Quant à l'échange de données dans cette discipline où « l'on communique déjà beaucoup entre pathologistes pour se demander des avis », les espoirs portés par la digitalisation sont grands : « à l'heure actuelle, les lames sont envoyées par voie postale. Cela prend du temps et elles arrivent parfois cassées. Lorsque nous disposerons des réseaux sécurisés nécessaires entre les hôpitaux, nous pourrions obtenir un avis de manière quasi-instantanée. »



# La ré-irradiation, une technique de pointe pour repousser toujours plus loin le cancer

La décision de reprendre une radiothérapie n'est jamais anodine et, jusqu'à il y a quelques années encore, les ré-irradiations étaient très rares voire inexistantes. La raison ? Irradier une zone qui l'a déjà été précédemment peut entraîner des effets indésirables et des complications sévères. Cependant, les progrès technologiques de ces dernières années et, surtout, l'essor de l'Intelligence Artificielle, ont ouvert de nouvelles perspectives en matière de ré-irradiation. Le point avec Dr Caroline Daveau, radiothérapeute à l'Institut de Cancérologie de Seine-et-Marne (ICSM), et Charbel Kassis, physicien médical, chef de l'unité de physique de l'ICSM, qui pratiquent cette technique.

## **ARIAS : Qu'appelle-t-on exactement la ré-irradiation et pourquoi y a-t-on recours ?**

**Dr Caroline Daveau :** Le développement des thérapies ciblées et de l'immunothérapie a permis d'améliorer de façon significative la survie liée au cancer. L'espérance de vie des patients s'allonge et la question de la ré-irradiation se pose de plus en plus souvent. Plusieurs cas peuvent se présenter : une récurrence du cancer primitif sur un site initial déjà irradié, une récurrence de métastases sur un organe déjà irradié ou à proximité ou encore, un nouveau

cancer à proximité d'un premier cancer irradié.

## **ARIAS : Comment est prise une décision de ré-irradiation ?**

**Dr Caroline Daveau :** L'indication de ré-irradiation doit être discutée et validée en réunion de concertation pluridisciplinaire (RCP) puis en staff technique de radiothérapie qui se compose toujours d'une double équipe médecin-physicien.

**Charbel Kassis :** En effet, une prise de décision médicale en RCP ne signifie pas nécessairement que la



Dr Caroline Daveau,  
Radiothérapeute, Institut de Cancérologie  
de Seine-et-Marne (ICSM)



Charbel Kassis,  
Physicien médical,  
chef de l'unité de physique de l'ICSM

ré-irradiation est dosimétriquement et techniquement faisable. En cas d'impossibilité technique, une concertation entre physiciens et médecins a lieu pour trouver une solution alternative.

**Dr Caroline Daveau :** Nous travaillons toujours en équipe de deux médecins et deux physiciens soit au minimum quatre professionnels pour valider une ré-irradiation. Dans certains cas complexes, l'ensemble des médecins du service se réunit avant décision finale.

## **ARIAS : Quels sont les conditions et prérequis pour envisager une ré-irradiation ?**

**Dr Caroline Daveau :** Sur le plan clinique, il est indispensable de connaître tous les traitements systémiques antérieurs et actuels du patient. Nous avons besoin des dossiers techniques des irradiations précédentes afin de connaître la dose reçue, le fractionnement, la

technique utilisée et le délai entre l'ancienne irradiation et la nouvelle ré-irradiation. Il faut également connaître la toxicité des irradiations antérieures. D'autres critères sont liés au patient lui-même : état général, comorbidités, âge, altération potentielle des organes (notamment foie et reins), mode de vie... Enfin, il faut connaître le type histologique du cancer primitif, le site précis de la récurrence et son volume.

**Charbel Kassis :** Notons également qu'un centre ne peut pas se lancer dans la technique de ré-irradiation sans avoir au préalable une expérience en stéréotaxie depuis plusieurs années.

### **ARIAS : Ces conditions réunies, quelles sont les premières étapes pour l'élaboration du plan de traitement ?**

**Dr Caroline Daveau :** Nous commençons par définir l'objectif du traitement, palliatif ou curatif. De cette intention découle le projet thérapeutique : contrôle local, prise en charge symptomatique ou prolongation de la survie du patient. Des informations concrètes de dosimétrie sont ensuite nécessaires pour savoir si le patient va tolérer cette ré-irradiation.

### **ARIAS : Justement, comment le traitement est-il construit sur le plan dosimétrique ?**

**Charbel Kassis :** Nous importons les données du traitement de radiothérapie antérieur dans notre système de planification de traitement (TPS). Cela va nous permettre de le sommer avec celui qu'on projette de faire et d'obtenir une équivalence de doses. En effet, dans une radiothérapie par fractionnement classique, la dose se situe aux alentours de 2 Gray (Gy) par fraction. En stéréotaxie, on utilise des doses par fraction entre 6 et 15 Gy par fraction... Mais l'anatomie du patient peut avoir changé depuis la précédente irradiation. La difficulté est donc de calculer l'équivalence puis

de la reporter avec la déformation morphologique. Pour ce faire, on recourt à des logiciels dotés d'Intelligence Artificielle.

### **ARIAS : Plus précisément, quel est le rôle de l'IA ?**

**Charbel Kassis :** Elle apporte beaucoup à chaque étape de la démarche. Dès l'imagerie de planification, les logiciels de contourage dotés d'IA vont aider à délimiter les organes à risques. A cela s'ajoute donc des systèmes capables de calculer l'équivalence de doses et la déformation des iso-doses. Ainsi, on va pouvoir savoir immédiatement si nos contraintes passent. Avant ces logiciels, on utilisait un facteur multiplicatif appliqué à l'ancien traitement mais cela surestime l'ancienne dose et, par conséquent, sous-dose le traitement actuel. Pendant le traitement lui-même, la radiothérapie guidée par l'image (IGRT) va gérer la précision et le ciblage.

**Dr Caroline Daveau :** L'IA nous permet de gagner en précision et en reproductibilité du traitement. Nous pouvons ainsi traiter nos patients de façon plus efficace avec un risque moindre de toxicité.

### **ARIAS : Quels sont les bénéfices pour les patients ?**

**Dr Caroline Daveau :** Comme on a pu visualiser le traitement antérieur de manière très précise, on dispose de l'information nécessaire pour savoir si l'on peut ré-irradier et, surtout, si on peut le faire dans de bonnes conditions. Et cela permet aujourd'hui de traiter plus de patients et d'obtenir des résultats satisfaisants sur le contrôle local, les symptômes, la survie ou le délai d'initiation d'une nouvelle chimiothérapie.

### **ARIAS : En termes de recherches et de perspectives, qu'imaginez-vous dans ce domaine ?**

**Dr Caroline Daveau :** À ce jour, nous n'avons pas lancé de projets internes de recherche mais une étude

prospective observationnelle, « We care Study », va être mise en place pour définir des guidelines et des contraintes de doses de ré-irradiation. Ce travail permettrait à tous les médecins et physiciens d'avoir des recommandations précises.

**Charbel Kassis :** Sur le versant de l'IA, des études sont en cours au niveau national et international notamment sur les logiciels de contourage. Un autre exemple concerne la planification dosimétrique, laquelle est actuellement basée sur le scanner. L'objectif est de recourir à l'IRM comme référence, ce qui permettrait d'avoir plus de précision, notamment au niveau des tissus mous et en termes de contourage. A l'étape de préparation, l'IA en amont du traitement concerne la planification de celui-ci et le calcul des doses grâce à l'IRM. Le scanner est actuellement l'examen de référence pour la définition des volumes à traiter et des tissus sains à épargner, mais aussi pour le calcul des doses de radiothérapie. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) permet une meilleure visualisation et caractérisation des tissus mous entraînant une délimitation plus précise des tumeurs et tissus sains. Cet examen non irradiant sera aussi demain l'outil de référence pour le calcul des doses. Une imagerie par résonance magnétique peut en effet être utilisée pour générer ce que l'on appelle un « pseudo-CT » ou encore « synthetic CT » ou « scanner synthétique » sur lequel le calcul de dose sera effectué. Cette idée n'est pas nouvelle, mais les techniques d'Intelligence Artificielle laissent entrevoir un gain substantiel de précision et un gain de temps considérable dans cette étape (voir notre article sur le scanner synthétique). Pendant le traitement, le dernier programme alliant l'IA et la radiothérapie de haute technicité porte sur l'adaptation des traitements à chaque séance.

## Radiothérapie adaptative : au plus près de l'anatomie du patient

Depuis quelques années, la radiothérapie adaptative propose un changement de paradigme. Le point sur cette nouvelle approche, le rôle qu'y joue l'IA mais aussi ses limites avec Professeure Florence Huguet, cheffe du service d'oncologie radiothérapie à l'Hôpital Tenon (AP-HP), et Alexandre Orthuon, radiophysicien à l'Hôpital Tenon (AP-HP).

Traditionnellement, la préparation d'un traitement par radiothérapie repose sur un scanner de simulation réalisé en amont. Celui-ci révèle donc une anatomie du patient propre à cette séance de préparation et le but des séances qui vont suivre sera de remettre le patient exactement dans la même position afin d'avoir un traitement le plus reproductible possible. Problème : « Certains protocoles de radiothérapie peuvent s'étendre sur plusieurs semaines ou mois, explique Professeure Florence Huguet, cheffe du service d'oncologie radiothérapie à l'Hôpital Tenon (AP-HP). Et pendant cette période, l'anatomie du patient peut se modifier en raison des mouvements internes des organes, d'une fonte de la tumeur ou encore à cause des effets secondaires du traitement comme une importante perte de poids. Tout cela peut déplacer aussi bien les volumes cibles que les organes à risques. »

### Améliorer le ciblage et la tolérance

« Il est donc nécessaire de prendre des marges relativement larges autour de la tumeur pour tenir compte de ces incertitudes », poursuit l'oncologue radiothérapeute. Mais qui dit marges plus larges, dit plus de tissus sains irradiés et donc plus d'effets secondaires. « Grâce à la radiothérapie adaptative, on peut s'adapter chaque jour à l'anatomie du patient, réduire les incertitudes et, en théorie, diminuer les marges autour du volume traité et donc, améliorer la tolérance du patient », détaille Pr Florence Huguet.

« Là où dans les cas classiques de radiothérapie, c'est le patient que l'on adapte à la machine, avec la radiothérapie adaptative, c'est la machine que l'on va adapter au patient », complète Alexandre Orthuon, radiophysicien à l'Hôpital Tenon (AP-HP). En pratique, les manipulateurs vont réaliser une acquisition CBCT<sup>1</sup> directement sur la table et ce, avant chaque séance de traitement de radiothérapie afin de vérifier l'anatomie du jour et de la comparer à l'anatomie initiale.

## L'IA pour un contouring plus précis et plus rapide

« L'Intelligence Artificielle va permettre de contourer de manière automatique et beaucoup plus rapide les organes qui pourraient influencer la position et la forme des volumes cibles », continue Alexandre Orthuon.

Notons cependant que cette IA n'est pas apprenante pendant la procédure de radiothérapie. Elle a été entraînée avant d'être utilisée sur les systèmes et fournit un résultat totalement reproductible. En outre, « le contourage réalisé n'est pas parfait et nécessite des retouches, tempère encore Alexandre Orthuon. Cependant, non seulement cela offre un gain de temps mais on va également, à partir de cette étape, disposer d'une anatomie du patient que le médecin va pouvoir corriger on-line ».

Le patient toujours sur la table, un nouveau calcul de dose est réalisé pour se conformer au plus précis à l'anatomie du jour, à la suite de quoi le système va proposer deux options : soit la dosimétrie initiale recalculée sur l'anatomie du jour, soit un recalcul et un re-paramétrage complets de la machine pour faire un focus à 100 % sur la nouvelle anatomie et, ainsi, adapter le traitement au patient. « On peut alors traiter le patient avec une nouvelle balistique et des nouveaux paramètres machines qui se sont focalisés, grâce à l'IA, sur les organes nouvellement contourés », décrypte le radiophysicien.

« Aujourd'hui, nous en sommes aux débuts de la radiothérapie adaptative mais les choses évoluent très vite, prévient Alexandre Orthuon. Des améliorations sont attendues, tant sur le développement de nouveaux sites anatomiques pour la délinéation que sur la qualité d'images, par exemple avec la réduction des artefacts de mouvement. De ce fait, les calculs de dose réalisés lors des sessions adaptées devraient être plus précis ».

## Et demain ?

« Il reste tout de même à prouver le bénéfice pour le patient, tempère Pr Florence Huguet. De fait, on pense en théorie que si on réduit les marges, on pourra avoir moins d'effets secondaires mais encore faut-il le montrer ! Or, nous n'arrivons pas aujourd'hui à réaliser des essais qui randomiseraient les patients entre la technique classique et la nouvelle technique. » À ce jour, à l'Hôpital Tenon, aucune réduction des marges n'a d'ailleurs été décidée « parce que nous voulons être sûrs de le faire sans faire perdre de chance aux patients, explique encore Pr Huguet. En effet, avec les mouvements qui se produisent pendant une séance de radiothérapie, il y a un risque, en réduisant les marges, que la tumeur ne se trouve plus dans la zone irradiée ». Garder à l'esprit cette balance entre essayer de ne pas perdre le contrôle tumoral et protéger au mieux les tissus sains est en effet essentiel, « sachant que les toxicités tardives sont celles qui vont avoir un vrai impact sur la qualité de vie des patients, rappelle encore Professeur Huguet. C'est donc l'impact de la radiothérapie adaptative sur ces toxicités à long terme que l'on doit étudier. »



Pr Florence Huguet

Cheffe du service d'oncologie radiothérapie à l'Hôpital Tenon

Alexandre Orthuon

Radiophysicien à l'Hôpital Tenon (AP-HP)

## IA et expérience patient

L'expérience patient, qui désigne les perceptions de celui-ci tout au long de son parcours de santé, est aujourd'hui reconnue comme une nécessité pour améliorer la qualité de la prise en charge, des soins et l'efficacité des systèmes de santé. Les différentes techniques existantes pour mesurer cette expérience sont en train d'évoluer considérablement avec l'Intelligence Artificielle. Le point avec Isabel Nieto Alvarez, experte de référence sur l'expérience patient chez Siemens Healthineers.



Isabel Nieto Alvarez,  
Experte de référence sur l'expérience patient  
chez Siemens Healthineers.

### **ARIAS : Pourquoi les recherches autour de l'expérience patient sont-elles importantes ?**

**Isabel Nieto Alvarez :** Analyser l'expérience patient est utile à plusieurs niveaux. Pour les systèmes et les établissements de santé, cela permet d'évaluer l'efficacité et la qualité des soins et d'en identifier les points d'amélioration. Cela peut aussi permettre de justifier de la pertinence et du coût de certains postes. Par ailleurs, ce qui est fait pour améliorer l'expérience des patients permet également aux professionnels de santé de comprendre quelles étapes du parcours de soins sont plus difficiles à vivre. Par exemple, le stress ou le manque de disponibilité du personnel médical, peuvent impacter l'expérience patient. Enfin, l'expérience patient est également un enjeu important pour les entreprises du dispositif médical comme Siemens Healthineers afin de savoir où et comment améliorer nos technologies. De fait, nos recherches portent tant sur les aspects négatifs

(déplaisants ou angoissants) que positifs de l'expérience patient. En tout état de cause, toutes les recherches sur l'expérience patient ont pour but d'apporter des solutions innovantes pour le diagnostic et le traitement.

### **ARIAS : Comment mesure-t-on cette expérience patient ?**

**Isabel Nieto Alvarez :** Il existe trois principaux indicateurs : les Patient-Reported Outcome Measures (PROMs), qui mesurent la qualité des résultats de soins perçus par le patient lui-même, les Patient-Reported Experience Measures (PREMs), qui mesurent l'expérience vécue par le patient, par des questionnaires de satisfaction demandant des réponses qualitatives et informatives. Ceux-ci ont une réelle importance car il est difficile de comprendre l'expérience patient en se fondant uniquement sur des chiffres. Il est donc important de proposer des questions ouvertes pour que les patients et accompagnants puissent vraiment partager leur expérience; tout en leur donnant

des exemples, des situations pour les guider et les aider à s'exprimer davantage. Le dernier indicateur est la mesure de l'efficacité : temps d'attente pour l'examen, temps de pose du diagnostic et temps d'attente pour recevoir le traitement. Globalement, l'expression libre des patients (écrite ou orale) enrichit l'évaluation de l'expérience.



## ARIAS : Quelles sont les limites ?

**Isabel Nieto Alvarez :** Dans le cadre de questionnaires avec questions ouvertes, un premier problème va être la quantité de verbatims à analyser. Manuellement, c'est une tâche laborieuse et chronophage. Par ailleurs, les patients ne s'expriment pas tous aisément, notamment à l'écrit. Et même si les établissements de santé investissent beaucoup de temps et d'argent pour mener à bien des politiques de changement sur la base de ces expériences patient, force est de constater que, souvent, ce n'est pas efficace.

## ARIAS : En quoi l'IA modifie-t-elle la mesure et l'analyse de l'expérience patient ?

**Isabel Nieto Alvarez :** Elle permet de combiner avec efficacité les réponses courtes à des questionnaires électroniques de type QCM à des méthodes de traitement du

langage naturel (NLP) qui analysent automatiquement les réponses aux questions ouvertes. Une expérience de ce type a d'ores et déjà été mise en place dans le service de radiologie de la Mayo Clinic aux Etats-Unis et dans certains sites aux Pays-Bas et en Grande-Bretagne. Une autre technique consiste à analyser grâce à l'IA les émotions véhiculées par le patient dans des contenus audios, c'est-à-dire à étudier les propos de la personne et la manière dont elle les dit. Cette approche est notamment utilisée pour les personnes qui ont des difficultés physiques et/ou mentales pour écrire. C'est un sujet de recherche plus récent et moins mature qui rencontre encore certaines difficultés liées aux bases de données d'entraînement puisque, à l'oral, se pose la question des accents, des émotions, des différences régionales... Enfin, un autre domaine de recherche porte sur les jumeaux numériques des flux dans les hôpitaux. Cela

consiste à analyser comment les patients se déplacent, les temps de déplacement entre les services, etc. Il faut donc donner à la machine un modèle avec toutes les étapes du parcours et toutes les interactions entre patients, équipe soignante et flux de travail. Les commentaires des patients sont fléchés à la bonne étape et au bon interlocuteur. Mais pour que ce modèle soit fiable, il ne doit pas être conçu par des chercheurs en Intelligence Artificielle qui n'ont pas connaissance de l'expérience des patients. Il faut donc former des équipes multidisciplinaires qui intègrent des patients, chercheurs en IA et des experts des parcours médicaux. Il reste encore du travail à faire avec les professionnels de santé, les patients et les industriels pour que l'expérience patient devienne un véritable pilier de la prise en charge.



L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE)  
relève que le marché mondial de l'IA en santé pourrait être **multiplié**  
**par 16 d'ici 2030** et passer ainsi de  
**11 milliards de dollars en 2021 à... 188 milliards de dollars**

OCDE : l'IA dans le domaine de la santé

