

Janvier 2022  
Volume 42, Numéro 1

# échos

**la revue** des technologues en imagerie médicale,  
en radio-oncologie et en électrophysiologie  
médicale du Québec

Numéro de convention en poste-publication : 40070307

## Innovation et recherche

L'implication des technologues



## Notre offre pour les technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale devient encore plus avantageuse

Découvrez vos nouveaux avantages et privilèges à [bnc.ca/specialiste-sante](https://bnc.ca/specialiste-sante)

Fière partenaire de

Ordre des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale du Québec

Sous réserve d'approbation de crédit de la Banque Nationale. L'offre constitue un avantage conféré aux détenteurs d'une carte de crédit Mastercard<sup>MD</sup> Platine, World Mastercard<sup>MD</sup>, World Elite<sup>MD</sup> de la Banque Nationale. Certaines restrictions s'appliquent. Pour plus de détails, visitez [bnc.ca/specialiste-sante](https://bnc.ca/specialiste-sante). MD MASTERCARD, WORLD MASTERCARD et WORLD ELITE sont des marques de commerce déposées de Mastercard International Inc. La Banque Nationale du Canada est un usager autorisé. MD BANQUE NATIONALE et le logo de la BANQUE NATIONALE sont des marques de commerce déposées de Banque Nationale du Canada. © 2020 Banque Nationale du Canada. Tous droits réservés. Toute reproduction totale ou partielle est strictement interdite sans l'autorisation préalable écrite de la Banque Nationale du Canada.

# Sommaire



## Innovation et recherche L'implication des technologues

### Mot de la présidente

4

Technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale : des expertises à reconnaître

### Au cœur de la pratique

8

L'ordonnance

### Radioprotection

11

Contrôles de qualité en radio-oncologie et impacts sur les traitements

### Déontologie

16

Code des professions, article 59.2

### En commun

18

L'intelligence artificielle en radiologie : des souris et des hommes

Au cours des prochaines années, les outils d'intelligence artificielle seront intégrés au flux de travail en radiologie.



### Électrophysiologie médicale

24

Apprentissage avec simulateur d'échographie

Les avantages de l'apprentissage en échographie cardiaque avec l'aide de simulateur.



### Médecine nucléaire

31

Une nouvelle avenue pour le diagnostic des glioblastomes multiformes : le <sup>68</sup>Ga-PSMA

Comprendre le réel potentiel du <sup>68</sup>Ga-PSMA dans l'évaluation des cancers non prostatiques.



### Radiodiagnostic

38

L'intelligence artificielle et son apport aux techniques de radiologie

L'intelligence artificielle, une 4<sup>e</sup> révolution entre les mains des technologues.



### Échographie

44

Recherche en échographie quantitative pour améliorer la détection de cancer du foie

L'échographie, un outil pour identifier les microstructures tissulaires.



### Radio-oncologie

50

Le Mobetron : la radiothérapie portative du sein en salle d'opération

L'application du rayonnement directement sur la tumeur résiduelle ou le lit tumoral pendant une chirurgie caractérise principalement la radiothérapie peropératoire par électrons.

Collaboration à un projet de recherche préclinique : une expérience unique !

Une étude préclinique sur la réparation cutanée à la suite d'une irradiation a été réalisée au Cégep de Sainte-Foy.

L'ÉchoX, la revue de l'Ordre des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale, est publiée depuis 1964. Elle est maintenant tirée à 7 000 exemplaires en plus d'être disponible en format numérique sur le site de l'Ordre. • **COMITÉ DE LA REVUE** Alexandra Boucher, t.e.p.m., Renée Breton, t.r.o., Carole Chaumont, t.e.p.m., Félix Déry, t.i.m. (MN), Mohamed Khelifi, t.i.m. (RD), Nathalie Poissant, t.i.m. (RD) • **COLLABORATEURS AU CONTENU** Mathieu Bergeron, t.r.o., Louise Chevalier, t.e.p.m., Marie-Ève Côté, t.i.m. (RD), Geneviève Dupuis, t.i.m. (RD), Alyson Jolin, t.i.m. (MN), Andrée Jutras, t.r.o., Mohamed Khelifi, t.i.m. (RD), Josée Langevin, t.r.o., Martin Lebeau, t.r.o., Yves Morel, t.i.m. (RD), Nathalie Poissant, t.i.m. (RD), Mélanie Ratelle, t.r.o., Francine Roy, t.i.m. (RD), Gabriel Seyer, t.i.m. (RD), Dre Ann Tang, MD, M. Sc., An Ni Wu • **RÉVISION ET CORRECTION** Marie-Johanne Tousignant, M. Ed. • **PUBLICITÉ** Dominic Desjardins, CPS Média Inc., OTIMROEPMQ • **ABONNEMENTS ET CHANGEMENTS D'ADRESSE** [communications@otimroepmq.ca](mailto:communications@otimroepmq.ca) • **DESIGN GRAPHIQUE** Bunka • **IMPRESSION** Graphiscan • **POLITIQUE D'ABONNEMENT** Les membres et étudiants en dernière année de formation collégiale reçoivent L'ÉchoX trois fois par année. Abonnement offert à 75 \$ par année (plus taxes). • **POLITIQUE ÉDITORIALE** Sauf indications contraires, les textes et les photos publiés n'engagent que les auteurs. Toute reproduction doit mentionner la source, après autorisation préalable de l'Ordre.

6455, rue Jean-Talton Est, bureau 401, Saint-Léonard, Montréal (Québec) H1S 3E8  
514 351-0052 ou 1 800 361-8759 • [otimroepmq.ca](https://otimroepmq.ca)

DÉPÔT LÉGAL Bibliothèque nationale du Québec et Bibliothèque nationale du Canada ISSN 0820-6295



# Mot de la présidente



## Technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale : des expertises à reconnaître

Technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale : des expertises à reconnaître. La Semaine des technologues 2021, qui a eu lieu entre le 7 et le 13 novembre dernier, avait pour thématique *Des expertises à reconnaître*. Plus que jamais, il faut reconnaître le rôle fondamental que jouent les technologues en imagerie médicale des domaines du radiodiagnostic, de la médecine nucléaire et de l'échographie médicale, les technologues en radio-oncologie et les technologues en électrophysiologie médicale dans le réseau de la santé, mais surtout, auprès des patients.

C'est dans cette optique que l'Ordre a profité de la Semaine des technologues pour lancer une vaste campagne de promotion, notamment en diffusant un communiqué de presse auprès des médias ainsi qu'une campagne publicitaire dans les réseaux sociaux.

Je suis particulièrement fière de cette campagne qui, pour moi, démontre toute l'humanité dont vous faites preuve avec les patients. J'espère qu'elle portera ses fruits longtemps et je compte sur vous pour porter son message quotidiennement.

Je sais que l'automne n'a pas été de tout repos, avec le décret annonçant la vaccination obligatoire pour les travailleurs de la santé, les équipes réduites dans plusieurs régions, les longues listes d'attentes et le sentiment que votre contribution n'est pas reconnue à sa juste valeur. Je vous entends, vous comprenez, et travaillez sans relâche avec les autres membres du conseil d'administration et l'équipe du siège social à accomplir notre mission de protection du public, en considérant que votre bien-être physique et mental est nécessaire à la continuité des services aux patients.

**Je remarque d'ailleurs que les technologues jouent un rôle de plus en plus marqué en ce qui a trait à l'innovation et à la recherche, et il s'agit d'une excellente nouvelle pour le rayonnement de nos professions.**

**J'ai aussi envie de vous inviter à prendre connaissance du rapport annuel de l'Ordre qui a été présenté lors de l'AGA le 16 novembre dernier. On y retrouve en détail les grandes réalisations de l'Ordre et, nouveauté cette année, des faits saillants pour vous aider à avoir une meilleure vue d'ensemble.**

### Innovation et recherche : le rôle clé des technologues

Je suis toujours emballée de lire cette édition de l'ÉchoX qui traite généralement d'innovation, puisque, nous le savons, la technologie est au cœur de notre quotidien.

Je pense entre autres aux articles portant sur l'intelligence artificielle, une avancée avec laquelle nous devons nécessairement composer, ou encore à l'article à propos de la participation de technologues à un projet de recherche sur la réparation cutanée à la suite d'une irradiation.

Je pense aussi aux différents contenus qui démontrent que nos pratiques sont toujours en mouvement, comme par exemple les articles sur la simulation en échographie cardiaque ou encore sur l'échographie quantitative et celui sur le potentiel de la protéine GA-PSMA pour évaluer des cancers non prostatiques.

Une fois de plus, merci à tous les auteurs qui ont généreusement contribué, par leur article, à approfondir les connaissances des technologues dans cette sphère fondamentale. Je remarque d'ailleurs que les technologues jouent un rôle de plus en plus marqué en ce qui a trait à l'innovation et à la recherche, et il s'agit d'une excellente nouvelle pour le rayonnement de nos professions.

### 2021, presque à l'image de 2020

Quelle année, encore, nous avons tous vécue. Particulièrement sur le plan humain, à l'instar de 2020.

Du côté de l'Ordre, plusieurs dossiers ont cheminé, pour ne nommer que ceux touchant l'accès à la profession, tant par les candidats du Québec qu'hors Québec. Mentionnons par exemple le développement d'outils de reconnaissance des acquis ainsi que d'entrevues orales structurées, des initiatives qui permettront de faciliter le processus d'admission des candidats hors Canada.

De plus, après plusieurs mois à travailler sur le dossier de la planification des traitements en radio-oncologie et à la suite de nombreuses étapes de consultation, l'Ordre a émis en novembre dernier l'énoncé de position suivant : **Le plan de traitement étant nécessaire et inhérent à l'utilisation des radiations ionisantes, cette intervention clinique relève de l'exercice de la profession de technologue en radio-oncologie puisqu'il vise à réaliser un traitement.**

L'Ordre travaille étroitement avec les chefs de service en radio-oncologie à la mise en application du plan relativement à ce dossier. Vous pouvez consulter l'énoncé complet sur notre site dans la section *Avis et position de l'Ordre*.

J'ai aussi envie de vous inviter à prendre connaissance du rapport annuel de l'Ordre qui a été présenté lors de l'AGA le 16 novembre dernier. On y retrouve en détail les grandes réalisations de l'Ordre et, nouveauté cette année, des faits saillants pour vous aider à avoir une meilleure vue d'ensemble. Vous trouverez le rapport sur le site de l'Ordre, [otimroepmq.ca](http://otimroepmq.ca), dans la section Centre de documentation.

J'aimerais terminer en félicitant Mme Danielle Boué, t.i.m. (E), pour son titre de technologue émérite, Mesdames Johanne L'Écuyer, Vicky Fortin, t.i.m., et Maryanne Fortin, t.i.m., lauréates du prix Rayonnement ainsi que M. Steve Hudon, t.i.m. (H) et mesdames Catherine Forget, t.r.o. (H), et Valérie Faucher, t.i.m. (H), pour leur titre d'administrateurs honoraires. Vous faites honneur à nos professions !

Sur ce, j'espère sincèrement que vous avez pu profiter de la période des Fêtes pour prendre du temps avec vos proches, mais aussi, pour prendre du temps pour vous.

À bientôt,

*Mélanie Ratelle*

Mélanie Ratelle, t.r.o.



# PRIX OTIMROEPMQ

Chaque année, l'Ordre honore la contribution des technologues qui se sont distingués dans leur profession en leur remettant des prix et des bourses.

C'est dans le cadre de la Semaine des technologues que les récipiendaires se sont vu remettre leur prix. Félicitations pour votre implication !

## ADMINISTRATEURS HONORAIRES

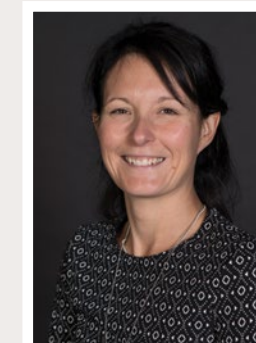
Trois technologues ont reçu la reconnaissance d'Administrateur honoraire pour leur implication au sein du conseil d'administration de l'Ordre.



Steve Hudon, t.i.m.(H) (RD), administrateur de 2008 à 2020



Valérie Faucher, t.i.m.(H) (RD), administratrice de 2010 à 2020



Catherine Forget, t.r.o.(H), administratrice de 2010 à 2020

## TECHNOLOGUE ÉMÉRITE 2021



Ce prix est remis à **Danielle Boué, t.i.m.(E)** pour sa contribution remarquable au développement de la profession, notamment en ayant siégé durant dix ans au poste de présidente de l'Ordre.

Consultez la vidéo témoignage sur le site de l'Ordre pour en savoir plus.



## PRIX RAYONNEMENT 2021

Le prix Rayonnement 2021 a été remis au projet « Hypnose en imagerie médicale » présenté par **Johanne L'Écuyer**, retraitée de la profession de technologue en imagerie médicale, **Vicky Fortin, t.i.m. (RD)** et **Maryanne Fortin, t.i.m. (RD)**. Un projet exemplaire permettant l'amélioration significative des services et des soins offerts aux patients.

Consultez la vidéo sur le site de l'Ordre pour en savoir plus.



De gauche à droite : Johanne L'Écuyer, Vicky Fortin, t.i.m. (RD) et Maryanne Fortin, t.i.m. (RD)



De gauche à droite : Mélanie Ratelle, t.r.o., présidente OTIMROEPMQ, Danielle Boué, t.i.m.(E) (RD) lauréate, Caroline Bélisle, directrice générale et secrétaire OTIMROEPMQ

# L'ordonnance

DANS CETTE RUBRIQUE, NOUS ABORDERONS UN SUJET D'IMPORTANCE : L'ORDONNANCE.



Francine Roy  
t.i.m. (RD)

Directrice de  
l'inspection  
professionnelle

Les activités qui ont été réservées aux technologues le sont par la *Loi sur les technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale du Québec*. La majorité de ces activités ont comme prémisses une ordonnance médicale. Comme technologue, nous nous devons donc de bien comprendre toutes les particularités reliées à celle-ci.

Encore aujourd'hui, le service d'inspection professionnelle reçoit plusieurs questions concernant ce thème. C'est pourquoi nous publierons une série d'articles sur le sujet.

Tout d'abord : qu'est-ce qu'une ordonnance ? Dans le *Code des professions*<sup>1</sup>, une ordonnance est définie comme étant « une prescription donnée à un professionnel par un médecin, par un dentiste ou par un autre professionnel habilité par la loi, ayant notamment pour objet les médicaments, les traitements, les examens ou les soins requis, les circonstances dans lesquelles ils peuvent l'être, de même que les contre-indications possibles ».

Depuis quelques années, de nouveaux joueurs se sont ajoutés à la liste des professionnels qui peuvent demander aux technologues de réaliser l'une ou l'autre de nos activités réservées.

Commençons par qui peut prescrire un examen ou un traitement.

## Les médecins

Saviez-vous que seuls les membres du Collège des médecins du Québec (CMQ) ont le droit d'utiliser le titre de

médecin, avec ou sans qualificatif de spécialiste, et d'exercer la médecine ? Tout comme les autres ordres professionnels, le médecin est encadré par des lois et des règlements. L'article 31 de la *Loi médicale*<sup>2</sup> dresse la liste des activités réservées à ces professionnels.

Dans le cadre de l'exercice de la médecine, le médecin est autorisé, notamment, à prescrire des examens diagnostiques et des traitements. Les résidents en médecine détiennent ce privilège et peuvent aussi délivrer une ordonnance. Pour ce faire, certaines conditions doivent être respectées. En effet, ils ne peuvent l'accomplir que dans le cadre de leur formation et doivent utiliser le numéro d'identification qui leur a été attribué à cette fin.

Cependant, l'étudiant en médecine n'est pas autorisé à prescrire.

## Les physiothérapeutes

Depuis le 21 mai 2020, une modification au *Règlement sur les activités professionnelles pouvant être exercées par les membres de l'Ordre professionnel de la physiothérapie du Québec* (OPPQ) autorise les physiothérapeutes à prescrire certains examens radiologiques. Cette modification est le fruit d'une entente entre le CMQ et l'OPPQ ayant comme objectif d'accélérer et de simplifier la prise en charge des patients présentant une blessure à la suite d'un traumatisme.

Le physiothérapeute peut donc, dans le cadre de son champ d'exercices, prescrire des **radiographies** selon certains critères, notamment :

- Le patient doit présenter une blessure musculosquelettique **traumatique et aiguë** survenue il y a **moins de 72 heures** (ex. : une chute ou un accident);
- Le physiothérapeute doit être le **premier professionnel** à évaluer la blessure traumatique.

À la réception du rapport du radiologiste, le physiothérapeute doit s'assurer que le patient reçoive le suivi nécessaire en le dirigeant vers son médecin de famille ou vers un médecin ou un établissement avec lequel il aura établi une entente.

Depuis quelques années, de nouveaux joueurs se sont ajoutés à la liste des professionnels qui peuvent demander aux technologues de réaliser l'une ou l'autre de nos activités réservées.



Geneviève Dupuis  
t.i.m. (RD)

Inspectrice

Comme le physiothérapeute reçoit directement les résultats d'examen, cela lui permettra d'orienter rapidement son plan de traitement de façon sécuritaire pour le patient.

En aucun temps, le physiothérapeute n'est autorisé à réaliser ou à interpréter une radiographie. De plus, pour pouvoir exercer cette nouvelle activité, le physiothérapeute doit suivre une formation obligatoire et recevoir une attestation délivrée par l'OPPQ.

## Les sages-femmes

L'article 1 du *Règlement sur les examens et analyses qu'une sage-femme peut prescrire, effectuer ou interpréter dans l'exercice de sa profession* stipule que :

« Les examens et les analyses qu'une sage-femme peut prescrire, effectuer ou interpréter sont les suivants :

- 1° les examens et les analyses destinés à la mère inscrits à l'annexe I aux conditions, s'il y a lieu, qui y sont déterminées;
- 2° les examens et les analyses destinés à l'enfant inscrits à l'annexe II;
- 3° les examens et les analyses destinés au père inscrits à l'annexe III aux conditions qui y sont déterminées.

Aux fins du présent règlement, une sage-femme ne peut effectuer un examen ou une analyse en laboratoire. »

Donc, dans le cadre de son champ d'exercices, une sage-femme peut prescrire les examens suivants :

- Une amniocentèse;
- Une échographie obstétricale;
- Un profil biophysique.

La sage-femme n'est cependant pas autorisée à interpréter ou à effectuer les examens ci-haut nommés. Elle devra, de plus, mettre en œuvre une consultation vers un médecin et transférer le suivi clinique de la patiente à ce dernier dans les cas prévus au *Règlement sur les cas nécessitant une consultation d'un médecin ou un transfert de la responsabilité clinique à un médecin*.

## Les podiatres

L'article 8 de la *Loi sur la podiatrie* précise les activités pouvant être exercées par un podiatre :

« Un podiatre est autorisé à déterminer, par l'examen clinique et radiologique des pieds, l'indication du traitement podiatrique. Toutefois, un podiatre ne peut faire des examens radiologiques que s'il est titulaire d'un permis de radiologie délivré conformément à l'article 187 du *Code des professions* (chapitre C-26) »

Le CMQ considère désormais que les termes « examens radiologiques » doivent être interprétés dans le contexte

1 Code des professions, RLRQ, c. C-26, art. 39.3

2 L.R.Q., c. M-9

médical actuel et qu'en ce sens, l'expression imagerie médicale correspond mieux à la réalité clinique et devrait s'appliquer.

Conséquemment, tout en respectant son champ d'exercices qui consiste à « tout acte qui a pour objet de traiter les affections locales des pieds qui ne sont pas des maladies du système »<sup>3</sup>, le podiatre peut prescrire différents examens radiologiques, notamment une radiographie du pied, de la cheville ou encore une échographie du pied.

Voilà une première énumération des personnes habilitées par la loi à prescrire des examens relatifs à nos activités réservées. Les autres professionnels habilités à le faire seront traités dans notre prochaine rubrique.



**Gabriel Seyer**  
t.i.m. (RD)

Président du comité d'inspection professionnelle et conseiller Qualité

Président du conseil multidisciplinaire  
Direction des services multidisciplinaires  
CHUM

## Au cœur de ma profession

### Le champ d'exercices du technologue en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale

En tant que professionnel, nous faisons partie intégrante de la trajectoire de soins des patients et nous sommes amenés à réaliser plusieurs actes en lien avec les activités qui nous ont été réservées, et ce, selon notre champ d'exercices et l'évolution de la profession.

Plusieurs questionnements sont régulièrement soulevés au regard des activités que peut effectuer un technologue en imagerie médicale, en radio-oncologie ou en électrophysiologie médicale.

Dans cette optique, attardons-nous aujourd'hui particulièrement à la question suivante : *Puis-je effectuer l'aspiration de sécrétion chez un patient ?*

Tout d'abord, que stipule la loi ?

La loi sur les technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale, R.L.R.Q., c. T-5, stipule à l'article 7, les activités réservées aux technologues en imagerie médicale et en radio-oncologie, soit :

1° administrer des médicaments ou d'autres substances, lorsqu'ils font l'objet d'une ordonnance;

2° utiliser les radiations ionisantes, les radioéléments ou autres formes d'énergie, selon une ordonnance;

3° surveiller les réactions aux médicaments et autres substances;

4° introduire un instrument, selon une ordonnance, dans et au-delà du pharynx ou au-delà du méat urinaire, des grandes lèvres ou de la marge de l'anus ou dans une veine périphérique ou une ouverture artificielle;

5° mélanger des substances en vue de compléter la préparation d'un médicament, selon une ordonnance.

La réponse est donc « oui » pour les technologues en imagerie médicale ou en radio-oncologie. L'aspiration buccale ou endotrachéale est autorisée par l'activité 4.

Cependant, en ce qui concerne les technologues en électrophysiologie médicale, la législation actuelle ne permet pas la réalisation de cette activité. (R.L.Q. c. T-5 article 11.1) Toutefois, vous devez détenir la formation et les compétences nécessaires à la réalisation de chaque activité effectuée dans le cadre de votre pratique professionnelle.

# Contrôles de qualité en radio-oncologie et impacts sur les traitements

## LA RADIOTHÉRAPIE EST UNE SPÉCIALITÉ MULTIDISCIPLINAIRE, IMPLIQUANT DES ÉQUIPEMENTS ET DES PROCÉDURES COMPLEXES POUR LA PLANIFICATION ET L'ADMINISTRATION DES TRAITEMENTS.



**Mathieu Bergeron**  
t.r.o.

Cégep de Sainte-Foy, enseignant au département de radio-oncologie  
Centre régional intégré de cancérologie, Hôtel-Dieu de Lévis



**Martin Lebeau**  
t.r.o.

Coordonnateur technique  
Centre intégré en cancérologie - CHUM

Les auteurs de cet article n'ont aucun conflit d'intérêts avec les compagnies dont les technologies sont présentées en exemples. Les images sont à titre de référence seulement et ne constituent en aucun cas une quelconque forme de publicité.

Son succès en matière de probabilité de contrôle tumoral et de toxicité aux cellules saines dépend du respect de la planification lors de l'administration des traitements. Ceci implique de procéder à des contrôles de la qualité rigoureux des équipements et des différentes technologies utilisés que ce soit en radiothérapie externe ou en curiethérapie.

### Contrôles de qualité et évolution technologique

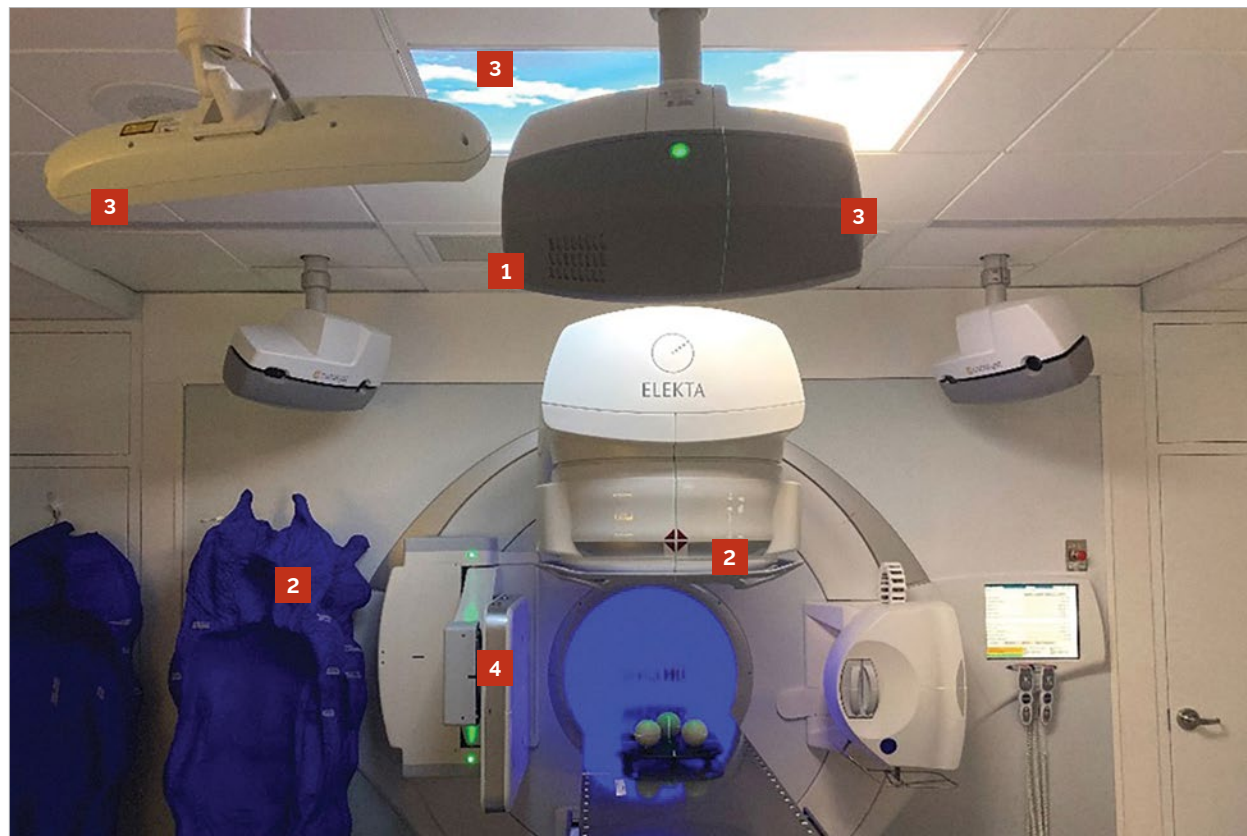
Les appareils de traitement en radio-oncologie sont pour la plupart sous la juridiction de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) dans la catégorie des installations nucléaires de type II, ce qui nécessite la mise en place de procédures de vérification rigoureuses en ce qui a trait aux éléments de sécurité et du contrôle de la dose de radiation, tant pour le patient que pour le personnel et le public. De plus, plusieurs types de tests et contrôles de qualité des équipements sont effectués à différentes fréquences afin de s'assurer que

les traitements soient précis et que l'ordonnance soit respectée. La calibration et le contrôle de qualité des équipements sont sous la responsabilité des équipes de physique médicale qui s'appuient en grande partie sur les recommandations de l'Association américaine de physique médicale (AAPM), mais également sur celles d'autres organismes aux plans national et international. Avec l'évolution technologique au fil des années, les appareils de planification et de traitement sont devenus beaucoup plus complexes, sans compter les nouvelles technologies qui s'ajoutent continuellement au parc d'équipements avec comme objectifs de toujours améliorer la précision des traitements prévus et la possibilité de délivrer des doses élevées de manière conforme aux volumes ciblés. (Figure 1) En exemple, différentes modalités d'imagerie sont déjà intégrées depuis plusieurs années pour vérifier le positionnement, les mouvements physiologiques et les variations anatomiques lors de l'administration d'un traitement en radiothérapie externe. Les technologies pour le traitement en asservissement respiratoire et pour la radiothérapie guidée par la surface sont, entre autres, de plus en plus présentes pour plusieurs sites traités. Des technologies complémentaires d'imagerie s'invitent même pendant le traitement, si on pense au jumelage de la résonance magnétique et d'un accélérateur linéaire (MRLinac) dans un contexte de radiothérapie adaptative. L'intelligence artificielle fait sa place dans le monde médical et le domaine de la radio-oncologie n'y échappe pas, tant sur le plan de l'entretien des équipements, que du contrôle de qualité, mais

## RÉFÉRENCES

- 1 - <https://www.osfq.org/fr/ordre#declarations>
- 2 - <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/S-01/>
- 3 - <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/S-0.1.%20r.%2011>
- 4 - <https://oppq.qc.ca/wp-content/uploads/Guide-explicatif-radiographie-4.pdf>
- 5 - <https://oppq.qc.ca/membres/actualites-et-dossiers/communiqu%C3%A9-presse-prescription-radiographies/>
- 6 - <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/P-12/>
- 7 - <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showDoc/cs/C-26?&digest>
- 8 - <http://www.cmq.org/publications-pdf/p-1-2016-10-03-fr-ordonnances-individuelles-faites-par-un-medecin.pdf?t-1634751482937>

Considérant le nombre de technologies qui se multiplient et l'importance que tous ces équipements soient bien calibrés, le rôle du technologue concernant les différents tests de contrôles de qualité est plus que jamais crucial.



**Figure 1 : 1** – Accélérateur linéaire dédié aux traitements de radiothérapie transcutanée ; **2** – Système d'imagerie kV pour la prise d'image de validation du positionnement du traitement ; **3** – Système de détection de la surface du patient à l'aide de caméras infrarouges ; **4** – Accessoire de vérification quotidienne des caméras du système de détection de la surface du patient.



**Figure 2 :** Appareil de mesure pour vérifier quotidiennement la qualité des faisceaux de radiation avant de commencer les traitements.



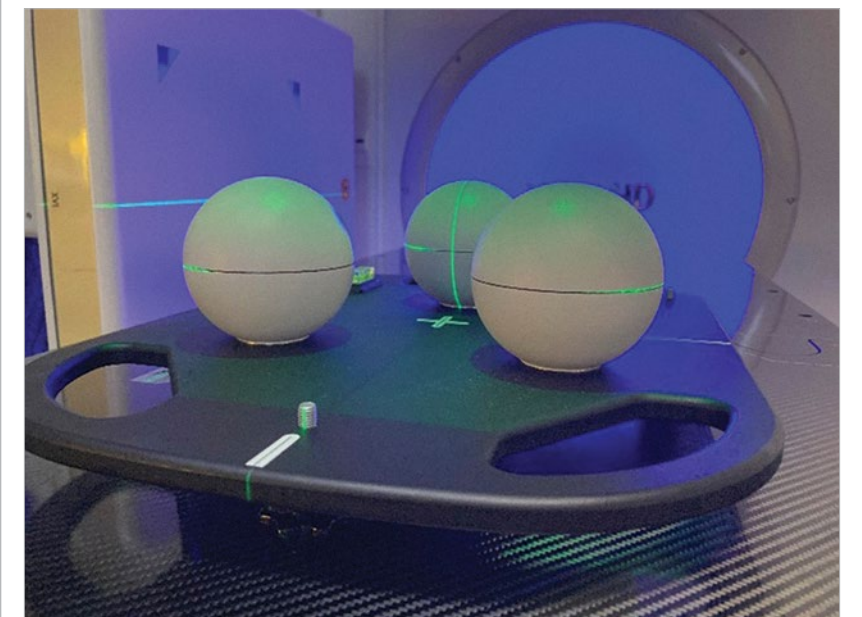
**Figure 3 :** Accessoires de vérification quotidienne des mouvements de rotation de la table de traitement.

aussi sur le plan de la planification et de l'administration des traitements précis et personnalisés.

Toutes ces technologies représentent un gain pour la précision des traitements et le patient en est gagnant pourvu qu'elles soient bien calibrées et synchronisées entre elles pour une utilisation optimale. En parallèle de l'évolution technologique, les types de contrôles de qualité, leur fréquence et le temps dédié à ces derniers ont augmenté significativement ces dernières années, toujours dans le but de s'assurer que la précision et la qualité des traitements sont rigoureusement validées.

#### Programme d'assurance qualité

Les programmes d'assurances qualité en radio-oncologie sont rigoureux par les diverses réglementations en vigueur ou encore par la précision requise selon la visée thérapeutique. La fréquence des tests peut être quotidienne, hebdomadaire, mensuelle, trimestrielle ou encore annuelle selon l'importance des paramètres à vérifier. Les tests quotidiens, effectués par les technologues, concernent principalement la sécurité des installations, le bon fonctionnement des éléments de sécurité, la vérification des composants des appareils et la validation de la qualité des faisceaux de radiation. Des contrôles plus exhaustifs doivent



**Figure 4 :** Accessoire de vérification quotidienne des caméras du système de détection de la surface du patient.

être effectués périodiquement sur tous les appareils, à des intervalles définis à l'avance, conformément aux recommandations en vigueur. Ce programme d'assurance qualité doit reposer sur les standards établis lors de la mise en service clinique d'un équipement. Une fois les standards établis, les protocoles des tests périodiques à effectuer

peuvent être développés et s'appuyer sur ces valeurs de référence. Une déficience en ce qui a trait aux éléments de sécurité ou d'un autre paramètre validé lors des tests effectués peut devenir dramatique lors de l'administration d'un traitement si un appareil de traitement ou une technologie qui lui est associé est défaillant.

## Types d'erreurs

Deux grands types d'erreurs peuvent être associés à de l'équipement défectueux ou à des erreurs de procédures en radio-oncologie : les erreurs aléatoires et les erreurs systématiques.

Les erreurs aléatoires (ou d'exécution) représentent les erreurs survenues lors de séances de traitement distinctes, et elles sont indépendantes les unes des autres. Les erreurs aléatoires ne sont pas de nature répétitive, contrairement aux erreurs systématiques. Les erreurs systématiques font souvent référence aux erreurs en lien avec la planification des traitements, et elles sont répétées de façon continue lors de l'administration du traitement. Les erreurs systématiques ont généralement un plus grand impact que les erreurs aléatoires en raison de leur répétition tout au long du traitement et elles peuvent être reliées directement à la déficience d'un équipement, d'un logiciel ou d'une autre technologie dédiés à la planification ou à l'administration d'un traitement.

Un exemple d'une grave erreur de type systématique : le drame d'Épinal en France<sup>[1]</sup> au début des années 2000 où plusieurs dizaines de patients traités par radiothérapie ont reçu des doses jusqu'à 30 % plus élevées que celles prescrites. Cette erreur était due à une mauvaise programmation du système de planification dosimétrique et un programme d'assurance qualité fautif sur le plan des procédures de contrôles de qualité absentes ou déficientes. Plusieurs patients sont même décédés des suites de cette surdose de radiation.

Du côté américain, quelques années plus tard, un patient a été traité par radiothérapie au niveau du thorax avec des faisceaux de radiation dont les dimensions étaient beaucoup plus grandes que ce qui avait été planifié, et ce, pour trois traitements consécutifs<sup>[2]</sup>. Cette erreur était due à un transfert erroné des paramètres de la planification vers le système d'administration des traitements et un manque de vigilance lors de la surveillance du traitement : un mélange d'erreurs systématiques et aléatoires dans ce cas-ci.

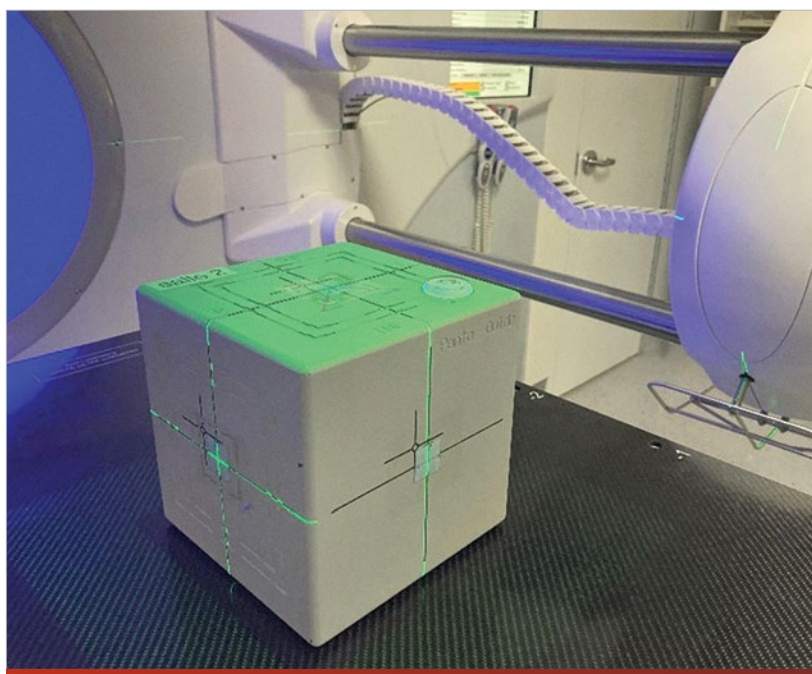


Figure 5 : Accessoire de vérification quotidienne de la précision des systèmes d'imagerie KV et des mouvements de table de traitement qui lui sont associés à la suite de l'analyse d'images de validation.

## Contrôle de qualité et rôle du technologue

Le rôle du technologue en radio-oncologie évolue constamment en parallèle avec l'évolution du domaine et des technologies associées. Considérant le nombre de technologies qui se multiplient et l'importance d'une bonne calibration de tous ces équipements, le rôle du technologue concernant les différents tests de contrôles de qualité (Figures 2 à 5) est plus que jamais crucial. Les tests quotidiens effectués sur

certaines appareils et toutes leurs technologies connexes peuvent durer environ une heure avant de commencer l'utilisation clinique. Il va sans dire que le rôle du technologue est très important pour s'assurer du bon fonctionnement des différents systèmes utilisés pour la planification et l'administration des traitements en radio-oncologie et ainsi éviter des erreurs dont les impacts sur le patient peuvent avoir des conséquences très graves.

## RÉFÉRENCES

- 1 – CHU de Québec-UL, Bulletin RadPro Avril 2013, Numéro 38
- 2 – [www.nytimes.com/2010/01/24/health/24radiation.html](http://www.nytimes.com/2010/01/24/health/24radiation.html)

## REMERCIEMENTS

Pour la prise de photos : Danny Bastien, technologue en radio-oncologie au Centre intégré de cancérologie, Hôtel-Dieu de Lévis.  
Pour les compléments d'information sur les appareils et les accessoires de contrôles de qualité sur les photos : Marie-Pier Lagacé, coordonnatrice technique au Centre intégré de cancérologie, Hôtel-Dieu de Lévis.

## Six avantages d'acheter une voiture électrique

Les voitures électriques gagnent en popularité. Peut-être que l'idée d'en avoir une vous a traversé l'esprit ? Voici les six avantages d'acheter une voiture électrique.

### 1. Économies sur le coût de recharge

L'un des grands avantages de la voiture électrique, c'est que ça vous permet de faire des économies. Ça pourrait même coûter jusqu'à quatre fois moins cher par kilomètre parcouru, selon Ressources naturelles Canada.

Les économies que vous pourriez faire par année ? Rouler 20 000 km dans une voiture compacte électrique pourrait vous faire économiser entre environ 1 500 \$ et 1 700 \$, selon BC Hydro et Hydro-Québec.

Le montant économisé dépend de plusieurs facteurs, comme le prix de l'essence et de l'électricité, le nombre de kilomètres parcourus, le modèle de voiture et la technologie utilisée.

Pour avoir une idée des coûts par kilomètre des différents marques et modèles de voitures, Ressources naturelles Canada offre un outil de recherche des cotes de consommation d'énergie par véhicule.

### 2. Économies sur le coût d'entretien

Les véhicules électriques coûtent moins cher d'entretien que les véhicules à essence. Selon le type de voiture (entièrement électrique ou hybride rechargeable), on retrouve des avantages comme :

- › L'absence ou la diminution des changements d'huile
- › La durabilité des freins (il y a un système de freinage par récupération d'énergie qui use moins les disques et les plaquettes de frein)
- › La structure du moteur électrique plus simple, donc qui nécessite moins de changements de pièces et de visites au garage

### 3. Subventions gouvernementales à l'achat ou à la location

Même si les voitures électriques coûtent moins cher en énergie et en entretien, leur prix de vente et de location reste souvent plus élevé que les véhicules à essence. Le gouvernement fédéral offre des subventions aux particuliers et aux entreprises.

Plusieurs provinces ajoutent aussi leurs propres incitatifs. Ils s'appliquent sur l'achat ou la location de véhicules admissibles, le remplacement d'un vieux véhicule ou même sur l'acquisition et l'installation d'une borne de recharge.

### 4. Offres avantageuses sur les prêts et les assurances

Certains assureurs offrent des rabais sur les assurances auto pour certains modèles. Il y a aussi des institutions financières qui ont mis en place des prêts-autos avantageux sur les voitures électriques et hybrides. Ça vaut le coup de s'informer.

### 5. Privilèges sur les routes

Le Québec et l'Ontario offrent des plaques d'immatriculation vertes aux détenteurs de voitures électriques ou hybrides rechargeables admissibles. Selon la région, elles donnent accès à certains privilèges, comme :

- › La possibilité de circuler sur des voies réservées
- › Les stationnements gratuits et réservés à plusieurs endroits
- › L'accès gratuit à des routes à péages ou à des traversiers

### 6. Avantages pour l'environnement

La voiture électrique n'émet pas de gaz à effet de serre quand elle roule. Selon Hydro-Québec, si l'on tient compte du cycle de vie d'une voiture (incluant les matériaux pour la construire), une voiture électrique émettra 65% moins de gaz à effet de serre qu'une voiture à essence pour 150 000 km parcourus. De plus, elle réduit aussi la pollution sonore créée par les moteurs à combustion.

Choisir la voiture électrique, ça peut être avantageux pour vos finances et pour l'environnement. Ça vaut aussi la peine d'évaluer vos besoins et de vous informer sur ce que ça implique avant de passer à l'action.

Découvrez l'offre de la Banque Nationale pour les technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale à [bnc.ca/specialiste-sante](http://bnc.ca/specialiste-sante).

### Fière partenaire de

L'Ordre des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale du Québec



# Code des professions, article 59.2

Par Yves Morel, t.i.m. (RD), syndic de l'OTIMROEPMQ

**« Art. 59.2. Nul professionnel ne peut poser un acte dérogatoire à l'honneur ou à la dignité de sa profession ou à la discipline des membres de l'ordre ni exercer une profession, un métier, une industrie, un commerce, une charge ou une fonction qui est incompatible avec l'honneur, la dignité ou l'exercice de sa profession. »**

## La nature de l'acte dérogatoire à l'honneur ou à la dignité de la profession

Le Tribunal des professions rappelle ce que constitue un acte dérogatoire à l'honneur ou à la dignité de la profession en vertu de l'article 59.2 du *Code des professions*. De son avis, un acte sera contraire à l'article 59.2 s'il « nuit à l'image ou à la réputation de l'ensemble de la profession, qu'il est d'une gravité certaine ou qu'il attaque l'essence même de la profession »<sup>1</sup>. Cette conduite doit cependant revêtir une certaine gravité<sup>2</sup>. Le Tribunal rappelle également que la preuve du caractère dérogatoire de l'acte doit en revanche être faite par les parties.

Nous retenons de cette décision le rappel du principe voulant qu'une condamnation en vertu de l'article 59.2 du *Code des professions* requiert la preuve d'une conduite d'une certaine gravité. Autrement, comme « il arrive à tous les professionnels de commettre des erreurs », la vie de ces derniers serait « invivable si la moindre erreur [...] était susceptible de constituer un manquement déontologique ».

Par contre, l'article 59.2 du *Code des professions* peut aussi très bien être utilisé par le syndic de l'Ordre afin de soutenir des plaintes qui ne peuvent être manifestement liées à

un ou à des articles précis du *Code de déontologie* ou d'un autre règlement de l'Ordre.

De façon plus positive, on peut en conclure que l'article 59.2 vise à promouvoir, au sein de l'organisation, l'obligation de se comporter avec modération, dignité, courtoisie et intégrité dans les rapports des professionnels avec leur Ordre et de façon respectueuse avec les autres membres de la profession.

## La Charte des droits et libertés de la personne et l'article 59.2

La vie privée d'un professionnel peut aussi être assujettie à des obligations déontologiques. Il arrive que certains gestes reprochés à un intimé se situent en dehors de l'exercice de sa profession et se situent donc dans la sphère de sa vie privée.

La jurisprudence reconnaît qu'un professionnel peut être tenu disciplinairement responsable d'un acte posé dans le cadre de sa vie privée s'il a un lien avec l'exercice de la profession ou s'il porte atteinte à l'honneur, à la dignité ou à la discipline de celle-ci.

L'exemple le plus connu est certes la formulation de certains commentaires sur les différents réseaux sociaux. Il y

a alors lieu de s'interroger quant à la conformité de ces gestes à caractère privé à l'égard des normes de pratique régissant la profession lorsque le comportement adopté par le professionnel dans le cadre de sa vie privée rejaillit sur ses consœurs et confrères.

La liberté d'expression ne peut empêcher un conseil de discipline de sanctionner un membre d'un ordre si son exercice ou son comportement constitue une violation du *Code des professions* ou de son *Code de déontologie*. Le conseil de discipline doit alors tenir compte des valeurs de la Charte et des objectifs relatifs aux règles régissant la profession.

En ce sens, iraient aussi à l'encontre de ce qui est généralement admis dans l'exercice de la profession, tous les propos ou comportements susceptibles de dévaloriser l'image de la profession.

Le technologue en imagerie médicale, en radio-oncologie ou en électrophysiologie médicale ne doit pas, par quelque moyen de communication que ce soit, prononcer des paroles, publier un écrit, diffuser des photos, des images, des vidéos ou effectuer tout autre acte allant à l'encontre des dispositions de l'article 59.2 du *Code des professions*.

La décision d'un conseil de discipline de réprimander un membre repose alors sur un geste considérant à la fois la liberté d'expression et l'objectif de la loi qui consiste à garantir que celui-ci agit avec objectivité, honneur, modération et dignité.

En conclusion, il convient de préciser que la liberté d'expression ne saurait autoriser les professionnels à tenir des propos diffamatoires ou non fondés, grossiers et/ou vulgaires à l'égard de leurs consœurs et confrères ou de leur organisation. Il est aussi important de souligner que de tels propos seraient aussi susceptibles de générer des recours juridiques de type mise en demeure ou poursuite par les personnes ainsi visées.

**« La critique est un levier du progrès. »**  
Utilisons-la avec discernement !

## RÉFÉRENCES

- 1 - LESSARD, Jean-Olivier, « Honneur, dignité et discipline dans les professions », *Développements récents en déontologie, droit professionnel et discipline*, vol. 323, 2010, p. 161.
- 2 - Malo c. *Infirmières et infirmiers (Ordre professionnel des)*, 2003 OQTP 132.

**« La critique est un levier du progrès. »**

— Un emploi en santé au Nunavik ?

**Faites-en votre aventure.**

► [sante-services-sociaux.ca](http://sante-services-sociaux.ca)

**PERSPECTIVE NUNAVIK**  
REGIE REGIONALE DE LA NUNAVIK REGIONAL  
SANTÉ ET DES SERVICES BOARD OF HEALTH  
SOCIAUX DU NUNAVIK AND SOCIAL SERVICES

# L'intelligence artificielle en radiologie : des souris et des hommes

**AU COURS DES PROCHAINES ANNÉES, LES OUTILS D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE SERONT INTÉGRÉS AU FLUX DE TRAVAIL EN RADIOLOGIE.**



**An Tang, MD, MSc**  
 Département de radiologie, Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM).  
 Centre de recherche du Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CRCHUM).  
 Département de radiologie, radio-oncologie et médecine nucléaire, Université de Montréal.  
 Faculté de médecine, Université de Montréal.



**An Ni Wu,**  
 étudiante en médecine  
 Faculté de médecine, Université de Montréal.

## Introduction

L'intelligence artificielle (IA) imprègne nos environnements personnels et professionnels. Quelques exemples d'application de l'IA dans la vie de tous les jours comprennent les assistants vocaux, la reconnaissance faciale, les algorithmes de recherche et de recommandation d'achats.

L'IA passe rapidement d'une phase expérimentale à une phase de mise en œuvre dans de nombreux domaines, dont la médecine. L'accès à des bases de données, la disponibilité de processeurs rapides et le perfectionnement d'algorithmes d'apprentissage machine ont permis de réaliser des avancées majeures en IA au cours de la dernière

**L'application de l'IA en radiologie au cours des prochaines décennies pourrait améliorer la productivité, la qualité, la pertinence et l'ampleur de la contribution de la radiologie aux soins des patients.**

décennie. La radiologie est un domaine de prédilection pour l'adoption de ces techniques tant dans l'analyse des images que dans la production de comptes rendus écrits. L'application de l'IA en radiologie au cours des prochaines décennies pourrait améliorer la productivité, la qualité, la pertinence et l'ampleur de la contribution de la radiologie aux soins des patients. Elle modifiera également le flux de travail dans les départements de radiologie.

Les objectifs de cet article sont de discuter du rôle potentiel de l'IA en radiologie, d'identifier les défis à surmonter pour que l'IA ait un apport tangible aux soins aux patients en imagerie médicale et de partager quelques réflexions sur le décalage entre la promesse de l'IA en radiologie et l'état actuel des lieux. Nous vous proposons un article sous forme de questions et réponses sur un ton convivial.

## Rôle potentiel de l'IA en radiologie

### À quel type d'intelligence fait-on référence ?

Selon la théorie des intelligences multiples, proposée à la fin des années 1990 par Howard Gardner, psychologue

du développement de l'université Harvard, il existe plusieurs types d'intelligence illustrées à la **Figure 1** : visuelle-spatiale, linguistique-verbale, logico-mathématique, intrapersonnelle, interpersonnelle, corporelle-kinesthésique, musicale et naturaliste.

Dans le domaine de l'imagerie médicale, nous faisons beaucoup appel à des tâches cognitives en matière de représentation spatiale pour comprendre l'anatomie sur des images en deux ou trois dimensions. Le radiologue doit également décrire le contenu des images sous forme de communication verbale en émettant un compte rendu, et il doit combiner des données de différentes sources pour évaluer la probabilité de maladie. Ainsi, le travail d'un radiologue fait appel à des tâches sollicitant surtout une combinaison de trois types d'intelligence : visuelle-spatiale, linguistique-verbale et logique-mathématique.

### Comment l'IA est-elle perçue en radiologie ?

Il existe essentiellement deux écoles de pensées sur cette question et la trame narrative sur l'IA en radiologie a beaucoup évolué au cours des années.

Au début, la vision était plus apocalyptique, comme illustré dans une entrevue avec Geoffrey Hinton, un des trois pères fondateurs de l'apprentissage profond (*deep learning*), une technique au cœur des percées récentes en IA. Celui-ci a affirmé en 2016 « qu'il était évident qu'on devrait arrêter de former des radiologistes ». En 2021, la position est davantage nuancée et on constate que la majorité des outils d'IA présentés à l'heure actuelle tendent plutôt à augmenter la charge de travail des radiologistes, car ces applications nécessitent généralement un temps supplémentaire de vérification, post-traitement et validation au lieu d'automatiser des composantes du flux de travail de façon transparente.

### Pourquoi employer l'IA dans les soins aux patients ?

L'intuition est bien résumée par Curtis Langlotz, radiologue et professeur d'informatique biomédicale à Stanford, qui a énoncé que « l'IA ne remplacera pas les radiologistes, mais que les radiologistes utilisant ces techniques d'IA remplaceront ceux qui n'auront pas adopté cette technique ». Un exemple éloquent provient d'une



Figure 1 : La théorie des intelligences multiples de Gardner.

D'après les prototypes décrits dans la littérature, l'IA pourrait contribuer à plusieurs étapes : la sélection de protocoles en fonction des renseignements cliniques, l'amélioration de la qualité d'images, la détection d'anomalies, la délimitation des lésions, la classification d'images et la priorisation de lecture d'exams en fonction des trouvailles.

étude multicentrique récemment publiée dans *Nature* en 2020 portant sur l'utilisation de l'IA pour l'analyse de mammographies effectuées dans le cadre du dépistage du cancer du sein. L'article démontrait une performance élevée de l'IA, comparable, voire supérieure à celle de radiologistes pour la détection de cancers. Cependant, les faux négatifs de l'IA et des experts humains pouvaient différer. Puisqu'il n'y a pas de corrélation directe entre les stratégies de détection de l'IA et celles des experts humains, nous anticipons que la performance de la combinaison des deux stratégies de lecture devrait être supérieure à l'IA seule ou au radiologiste seul. Ainsi, l'IA pourrait être employée comme second lecteur pour réduire les erreurs d'omission.

#### Que veut-on automatiser au juste ?

Il y a des opportunités de gain potentiel d'efficacité à différentes étapes du flux de travail des radiologistes. D'après les prototypes décrits dans la littérature, l'IA pourrait contribuer à plusieurs étapes : la sélection de protocoles en fonction des renseignements cliniques, l'amélioration de la qualité d'images, la détection d'anomalies, la délimitation des lésions, la classification d'images et la priorisation de lecture d'exams en fonction des trouvailles. Le corollaire est, qu'au cours des prochaines décennies, la valeur ajoutée au travail des radiologistes sera dans la compréhension de l'image, notamment dans l'évaluation pour guider le choix du traitement : l'intégration de différentes sources de données, les interventions telles que des biopsies ou des traitements percutanés, ainsi que la communication des résultats aux patients ou dans le cadre de réunions multidisciplinaires.

#### Comment va-t-on employer l'IA en radiologie ?

Trois scénarios sont envisageables dans l'intégration de différents outils d'IA dans l'analyse d'images. On pourrait employer un outil d'IA dans un scénario de *triage*. Par exemple, dans un contexte de mammographie de dépistage, l'IA pourrait analyser les images afin de détecter lesquelles devraient être lues en priorité pour planifier la suite de l'investigation. Un second scénario pourrait être l'utilisation de l'IA comme outil de *remplacement*, dans un scénario à faible risque comme l'évaluation de l'âge osseux. Un troisième scénario serait une *augmentation*, c'est-à-dire le radiologiste comme premier lecteur et l'IA ultérieurement pour confirmer un tel diagnostic ou encore pour éviter les erreurs d'omission.

Pour communiquer l'information, dans la situation actuelle, le radiologiste produit un rapport qui est acheminé au médecin traitant. Dans le cas des outils de détection, l'information pourrait être relayée au radiologiste. Dans le cas des logiciels de quantification, l'IA apporte une information additionnelle, sur le volume des organes, par exemple, l'information pourrait être annexée à un compte rendu. Dans le cas du triage, on peut envisager une notification à la fois au radiologiste et au médecin traitant pour accélérer la prise en charge.

#### Quelles tâches se prêtent à l'analyse d'images par l'IA ?

Sommairement, trois tâches principales pourraient être automatisées, soit la classification, la détection et la segmentation. (Figure 2) La tâche de classification d'images consiste à attribuer une étiquette sur le contenu de l'image

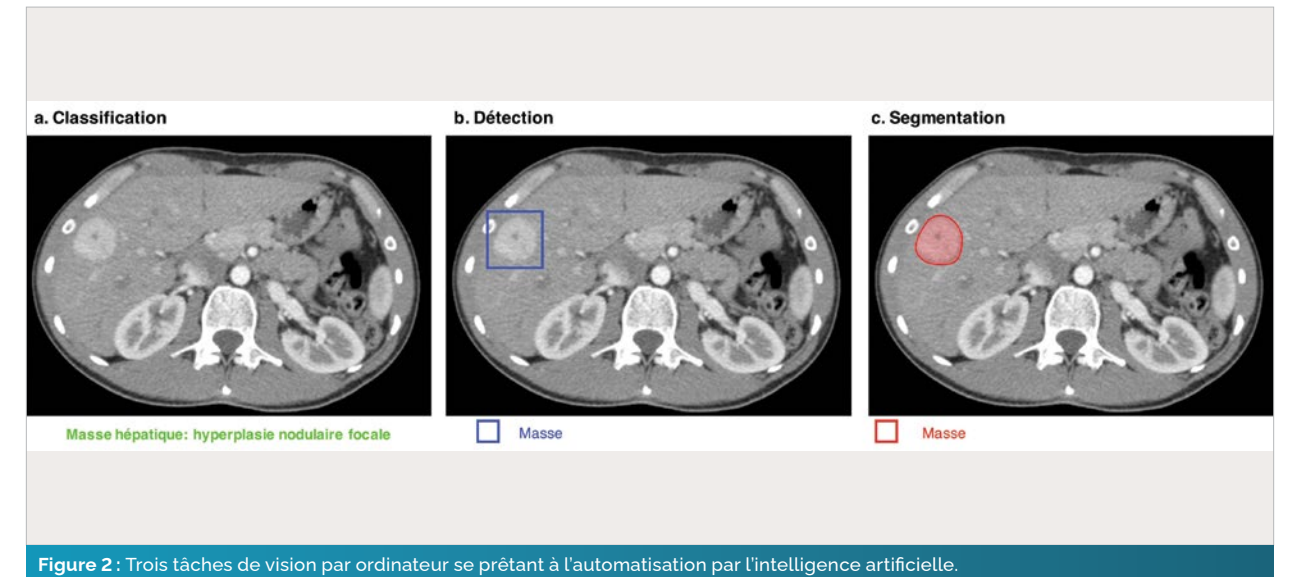


Figure 2 : Trois tâches de vision par ordinateur se prêtant à l'automatisation par l'intelligence artificielle.

(ex. : métastases hépatiques). Dans une tâche de *détection*, des anomalies pourraient être délimitées par des boîtes (ex. : boîtes délimitant différentes métastases). Dans une tâche de *segmentation*, des lésions pourraient être délimitées (ex. : le contour de métastases pourrait être délimité par un masque).

Dans un cadre de recherche, certaines équipes se sont penchées sur la prédiction de survie en combinant des données de différentes sources comme l'imagerie, l'histopathologie et le séquençage génétique. Ceci pourrait permettre de guider le choix de traitement de patients en fonction de leur profil. Par exemple, ceci permettrait d'éviter d'exposer des patients peu susceptibles de répondre à un traitement aux effets secondaires qui seraient plutôt de nature à causer plus de tort en réduisant leur qualité de vie plutôt que de prolonger leur survie.

#### Défis à surmonter pour que l'IA ait un apport tangible aux soins des patients

##### Quels sont les défis à relever ?

La réalité est que, même si la radiologie fonctionne dans un environnement numérique moderne depuis deux décennies, il reste encore beaucoup de documents papiers en amont et en aval. Les requêtes manuscrites ou transmises par télécopieur en sont de bons exemples. Ces documents manuscrits contenant de l'information précieuse doivent être convertis en données traitables par les logiciels d'IA. Par ailleurs, il y a présentement un effort important pour structurer les données. En radiologie, les comptes rendus sont traditionnellement en

texte libre, mais il y a transition vers une standardisation des comptes rendus où chaque trouvaille est associée à un ensemble de réponses possibles dont le format, le nombre de décimales des mesures, les unités de mesures, et les choix de réponses sont préalablement définis.

#### Comment entraîne-t-on des algorithmes d'IA ?

Construire une base de données demande beaucoup de travail méthodique, de leadership et de travail multidisciplinaire. Il faut annoter un jeu de données pour fournir un étalon standard aux algorithmes d'IA. Dans un contexte oncologique, il faut notamment classifier chaque lésion séparément. Pour chaque patient, il faut parfois obtenir des données de traitement comme le type de chimiothérapie et de chirurgie, le temps de survie et le temps à la récurrence. La base de données est donc très complexe avec de multiples formats de données qui doivent être présentés de façon « comestible » aux algorithmes d'IA. Le défi des prochaines années est d'enrichir les bases de données en augmentant la taille d'échantillons, mais aussi en diversifiant le type de données provenant de différentes sources. La prémisse est qu'une diversité de données permettrait d'améliorer les performances de prédiction des modèles et, ultimement, cela permettrait d'offrir des traitements personnalisés aux patients.

#### Quelle est la quantité de données requises ?

La réponse varie en fonction de la tâche qu'on souhaite accomplir. Pour une tâche de segmentation, quelques milliers de lésions devraient suffire pour obtenir une bonne

performance, puisqu'on dispose de plusieurs images pour chaque lésion. En revanche, dans le cas des données de survie, il faudrait sans doute obtenir des données de plusieurs milliers de patients afin d'obtenir de bonnes performances de prédiction, puisqu'il y a une seule donnée de survie disponible par patient.

Il existe différentes stratégies pour augmenter artificiellement la quantité de données, notamment en appliquant des déformations géométriques de façon à présenter aux modèles des tumeurs légèrement différentes chaque fois et en utilisant des stratégies de genèse de données synthétiques.

Une direction prometteuse consiste à réaliser un entraînement fédéré consistant à entraîner des modèles d'IA localement, dans différents hôpitaux, et ensuite acheminer les résultats vers un modèle fédéré. En procédant de cette façon, les données résident dans leur hôpital respectif et cela assure le respect de la confidentialité de l'information des patients. L'entraînement de modèles à un niveau fédéré permettrait d'obtenir des performances supérieures que si on utilisait les données d'un seul hôpital et celles-ci pourraient être comparables à celles qu'on obtiendrait si on centralisait l'ensemble des données.

#### Quels modèles sélectionner ?

Il existe des modèles d'apprentissage machine disponibles en libre accès pour réaliser différentes tâches : des tâches de classification, de détection ou de segmentation. Le travail multidisciplinaire en collaboration avec des spécialistes en vision par ordinateur, des scientifiques en données et des chercheurs en apprentissage machine est donc essentiel pour choisir les modèles appropriés.

### Réflexions sur le fossé entre la promesse et l'état des lieux

#### Comment expliquer le décalage avec la réalité ?

La gestation des outils d'IA est plus longue que prévue, et ce, pour différentes raisons. Il faut notamment assembler des équipes multidisciplinaires pour réaliser ces projets ambitieux et coûteux sur une longue période d'années. Outre la radiologie, ceci requiert une expertise de différents domaines dont la bio-informatique, l'oncologie, l'apprentissage machine, la vision par ordinateur. Cela nécessite une collaboration entre des disciplines qui ont des langages différents.

Le concept de niveau de maturation technologique, proposé par la NASA dans le cadre du développement de son système de fusées spatiales et repris par la suite dans plusieurs industries, est une échelle de neuf niveaux pour évaluer la maturité d'une innovation en évolution. On peut appliquer ce concept à l'IA en radiologie. Présentement, la littérature fournit de nombreux estimés de performance pour des prototypes provenant souvent d'une seule institution. Il faut éventuellement arriver à fédérer des données provenant de multiples institutions de façon à avoir des prototypes fonctionnels dans un environnement clinique, avoir des logiciels suffisamment robustes et fiables pour qu'ils soient homologués par Santé Canada, de façon à pouvoir les déployer et les obtenir dans un cadre commercial. Il s'agit d'un chantier de grande envergure. Il y a donc de nombreux défis à relever pour combler les fossés entre le domaine de la recherche et du développement ainsi qu'entre le domaine du développement et du déploiement commercial.

Quand les radiologues seront-ils remplacés par l'IA ?

C'est loin d'être certain et le scénario de pénurie est loin d'être garanti à l'heure actuelle. Dans une revue systématique portant sur 440 études sur l'IA dans le domaine de l'imagerie médicale, on constate que deux tiers des études pourraient contribuer aux soins cliniques des patients, mais que la moitié d'entre elles sont susceptibles d'augmenter la charge de travail des radiologistes.

#### Conclusion

En résumé, l'intelligence artificielle aura un impact important en radiologie. Nous sommes au début d'un cycle de développement de logiciels. Il convient d'avoir un leadership fort avec une vision pour fédérer des hôpitaux et des groupes de travail aux échelles provinciale et nationale. Dans la perspective du médecin radiologue, il est primordial de migrer vers un environnement entièrement sans papier avec des champs standardisés pour faciliter cette transaction. L'accès aux données bien structurées est requis pour entraîner des modèles. Nos associations et nos sociétés savantes devront inclure ces concepts dans leurs programmes de formation pour s'adapter aux changements à venir.

#### RÉFÉRENCES

- 1 – Built In. 2021. 28 Examples of Artificial Intelligence Shaking Up Business as Usual. <https://builtin.com/artificial-intelligence/examples-ai-in-industry>. [consulté le 2 octobre 2021]
- 2 – Gardner, H., & Hatch, T. 1989. Multiple Intelligences Go to School: Educational Implications of the Theory of Multiple Intelligences. *Educational Researcher*. 18(8), 4–10.
- 3 – Geoffrey Hinton. 2016. Machine Learning and The Market for Intelligence. Creative Destruction Lab. Toronto, ON, Canada. [https://www.youtube.com/watch?v=2HMPRXstSvQ&ab\\_channel=CreativeDestructionLab](https://www.youtube.com/watch?v=2HMPRXstSvQ&ab_channel=CreativeDestructionLab)
- 4 – Kwee, T.C., Kwee, R.M. 2021. Workload of diagnostic radiologists in the foreseeable future based on recent scientific advances: growth expectations and role of artificial intelligence. *Insights Imaging*. 12, 88.
- 5 – Nature. 2019. Rise of Robot Radiologists. <https://www.nature.com/articles/d41586-019-03847-z> [consulté le 2 octobre 2021]
- 6 – McKinney SM, et al. 2020. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*. 577(7788):89–94.
- 7 – Tang A, et al. 2018. Canadian Association of Radiologists White Paper on Artificial Intelligence in Radiology. *Can Assoc Radiol J*. 69(2):120–35.
- 8 – Bossuyt PM, et al. 2006. Comparative accuracy: assessing new tests against existing diagnostic pathways. *BMJ*. 6:332(7549):1089–92.
- 9 – Hugh Harvey. 2018. RSNA Spotlight Course – Practical Applications of Artificial Intelligence. RSNA. Paris, France.
- 10 – Montagnon, E. et al. 2020. Deep learning workflow in radiology: a primer. *Insights Imaging* 11, 22.
- 11 – TWI Global. What Are Technology Readiness Level (TRL)? <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/technology-readiness-levels>. [consulté le 2 octobre 2021]

#### FIGURES

- 1 – Figure produite par An Ni Wu.
- 2 – Figure produite par An Tang.

### QUESTIONS ET RÉPONSES

#### Question 1 : Quel type d'intelligence est particulièrement sollicité en radiologie ?

Choix de réponses :

- a) Corporelle-kinesthésique
- b) Musicale
- c) Naturaliste
- d) Visuelle-spatiale

#### Question 2 : Quel énoncé décrit le mieux l'état actuel de l'IA en radiologie ?

Choix de réponses :

- a) Il faut arrêter de former des radiologistes, puisque l'IA remplacera leur travail dans quelques années.
- b) La majorité des outils d'IA à l'heure actuelle tendent à augmenter la charge de travail des radiologistes.
- c) La performance de l'IA est nettement supérieure à celle des radiologistes.
- d) Il n'y a pas d'intérêt à combiner les deux stratégies de lecture, c'est-à-dire l'IA et le radiologiste.

#### Question 3 : La délimitation d'une anomalie par une boîte correspond à quelle tâche de vision par ordinateur ?

Choix de réponses :

- a) Segmentation
- b) Classification
- c) Détection
- d) Augmentation

#### Question 4 : Quelle étape, dans le flux de travail des radiologistes, pourrait être automatisée ?

Choix de réponses :

- a) Segmentation des lésions
- b) Intégration de différentes sources de données ou de modalités d'imagerie
- c) Communication des résultats aux patients et en réunion multidisciplinaire
- d) Procédures en radiologie interventionnelle

#### Question 5 : Quelles tâches accomplies par des radiologistes sont susceptibles d'avoir une grande valeur ajoutée dans un contexte d'automatisation ?

Choix de réponses :

- a) Compréhension de l'image
- b) Interventions percutanées
- c) Discussions multidisciplinaires
- d) Toutes ces réponses

Nous vous invitons à visiter le portail de l'Ordre pour entrer vos réponses et ainsi obtenir 0,5 h de DP supplémentaire.



# Apprentissage avec simulateur d'échographie

## LES AVANTAGES DE L'APPRENTISSAGE EN ÉCHOGRAPHIE CARDIAQUE AVEC L'AIDE DE SIMULATEURS.



Louise Chevalier,  
t.e.p.m.

CHUM, responsable  
de la formation en  
échographie cardiaque

### Introduction

L'échographie diagnostique est un examen qui donne des informations cruciales afin d'établir un diagnostic, faire un suivi de pathologies connues, guider un traitement.

L'échographie est une technique d'imagerie bien connue, sécuritaire et efficace, qui continue d'évoluer, sans effets secondaires et facilement accessible dans tout centre hospitalier ou clinique à un moindre coût pour la société. Le rôle du technologue EPM qui travaille en échographie cardiaque est primordial et essentiel dans la réalisation d'examen diagnostiques et de qualité.

L'échographie exige beaucoup de connaissances théoriques et d'expérience pratique, autant pour les médecins résidents que pour les techniciens, particulièrement en début d'apprentissage. Il est important de comprendre la façon d'acquiescer les images, de les analyser et de s'orienter dans l'espace entre la production d'images, la sonde et la physiologie du patient. Il est aussi primordial de reconnaître les artefacts, les fausses images et savoir comment les éliminer ou les éviter; il est aussi important de connaître la limite des ultrasons.

### Historique des simulateurs

M. Ken Patrick, un ancien officier de l'Aviation royale canadienne, a fondé la compagnie *Canadian Aviation Electronics Ltd (CAE)* en 1947. Ses activités ont débuté dans un hangar vacant de l'aéroport de Saint-Hubert, pour ensuite, dans les années 1950, déménager dans une nouvelle usine située près de l'aéroport de Dorval.

Cette compagnie fut une pionnière dans la fabrication de simulateurs de vols, dans les missions tactiques terrestres et les missions sous-marines, dans l'aviation commerciale, les simulateurs d'hélicoptère, le premier système de surveillance, de commande et de télémétrie au monde destiné à un gazoduc, et finalement dans l'application du contrôleur

manuel pour les systèmes à distance du bras canadien dans le programme de la NASA.

Pourquoi parler d'une compagnie de simulateurs de vols d'avion et de tactique militaire? C'est parce que dans les années 2000, cette même compagnie, voulant élargir son secteur d'activités ou voulant innover, lance une division santé soit la CAE santé. Cet intérêt pour le domaine médical avait débuté en 1990 avec un projet de cœur artificiel, en association avec l'Institut de cardiologie d'Ottawa; malheureusement ce projet fut abandonné. Cet échec poussa la compagnie à rebondir et plusieurs produits de simulations dans le secteur de la santé et de l'enseignement furent développés.

À ce jour, on retrouve quatre grandes familles de simulateurs :

1. Simulateurs patients (**Figures 1 à 6**)
2. Simulateurs chirurgicaux et d'échographies (**Figures 7 à 11**)
3. Applications de réalité virtuelle et augmentée
4. Système des gestions des centres hospitaliers.

Dans cette présentation, je vais surtout vous présenter des simulateurs patients, chirurgicaux, d'échographies et de réalité virtuelle et augmentée.

(**Figures 1, 2 et 3**)



Figure 1 : CAE Luna – simulateur en réanimation néonatale.



Figure 2 : CAE Ares – simulateur de formation avancée en situation d'urgence.

Il y a plusieurs avantages de commencer la formation avec un simulateur, car l'étudiant peut comprendre les vues échographiques en se référant à l'image 3D et à l'image échographique qui bougent en temps réel.

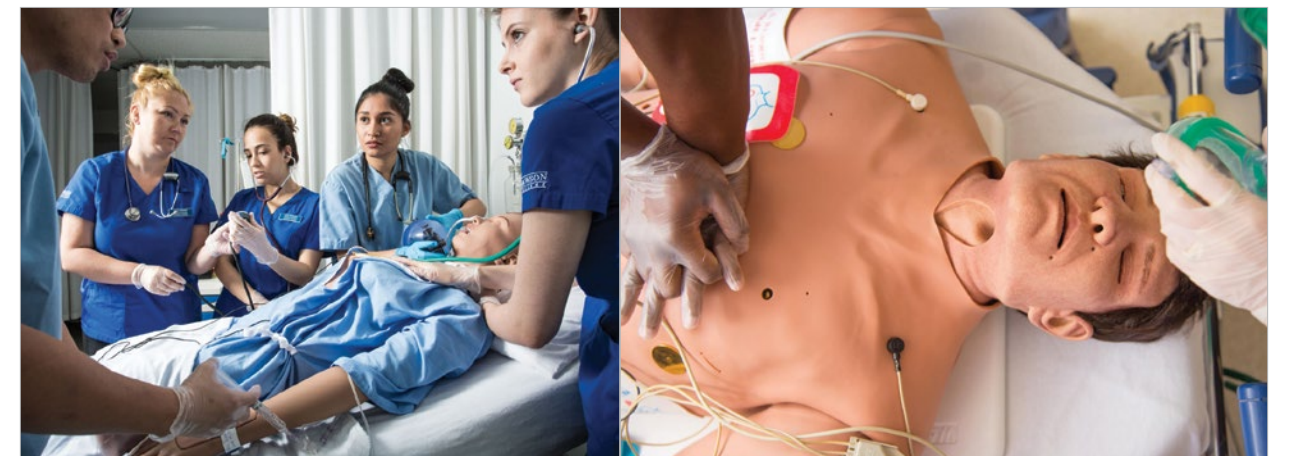


Figure 3 : CAE Juno et Apollo – simulateur pour la formation pratique clinique pour les infirmières.



Figure 4 : CAE Athéna et HPS – simulateur pour la formation en anesthésie, en ventilation mécanique, en inhalothérapie et en soins intensifs.



Figures 5 a et b : CAE Lucina – simulateur d'accouchements et CAE Pédiá – simulateur pédiatrique.



Figure 6 : CAE Caesar – simulateur de traumatismes externes.

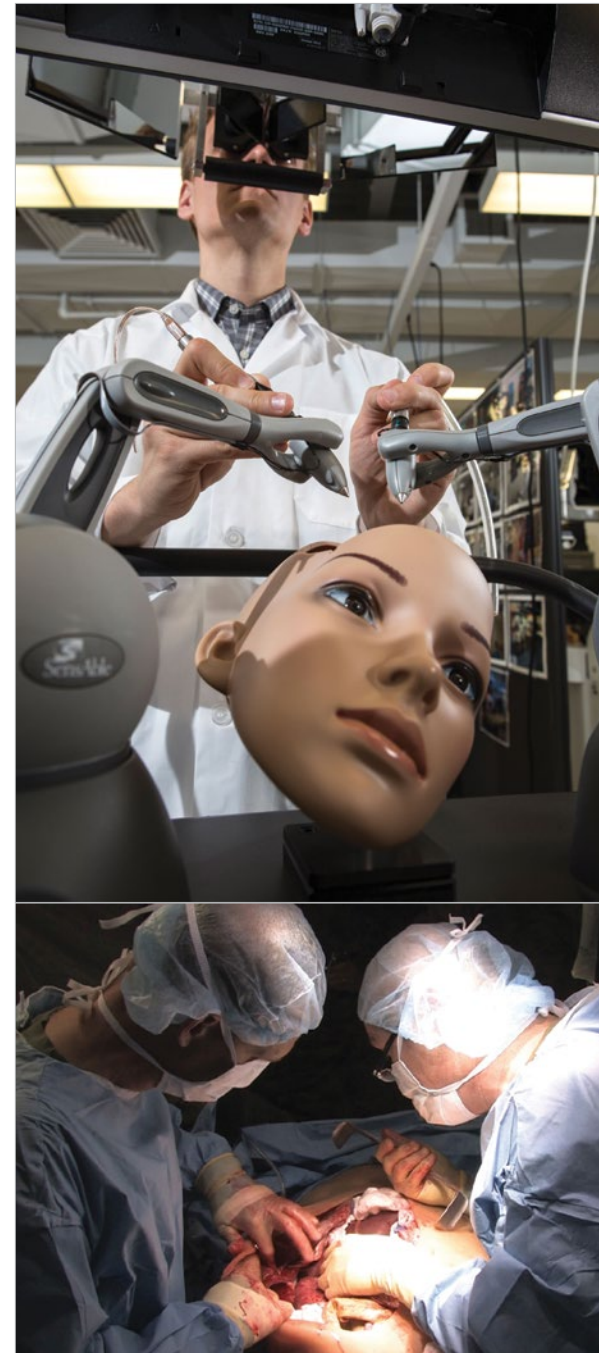


Figure 7 : CAE – simulateur de chirurgie (neuro, sutures et les incisions).



Figure 8 : CAE EndoVR – simulateur d'endoscopie, bronchoscopie et laparoscopie.



Figure 9 : CAE CathlabVR – simulateur de procédures cardiaques et vasculaires périphériques.

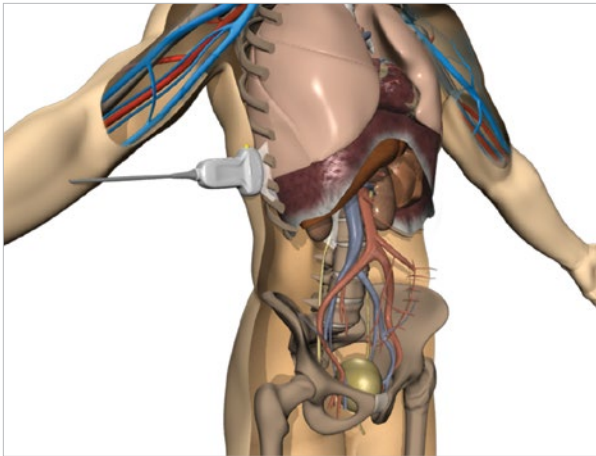


Figure 10 : CAE ICCU – simulateur d'échographie générale.

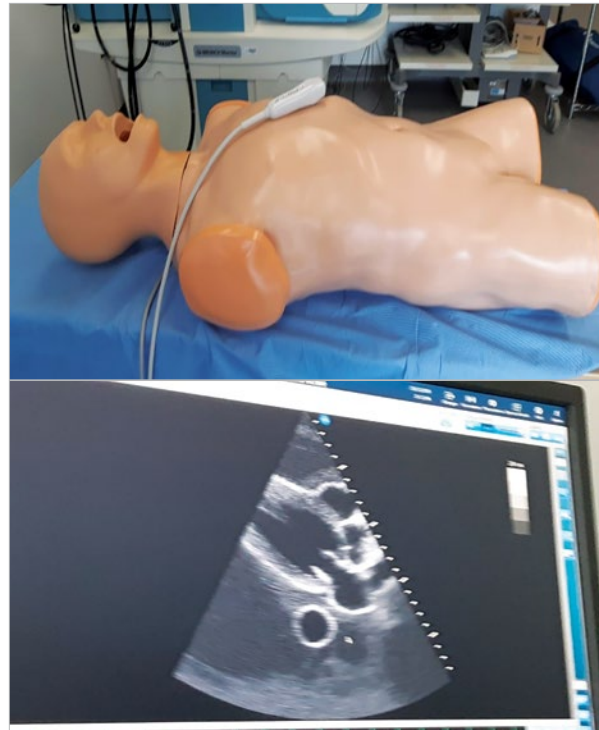


Figure 11 : CAE Vimedix – simulateur d'échographie cardiaque et d'échographie transœsophagienne.

Plusieurs articles scientifiques font l'éloge de l'utilisation du simulateur dans la formation des futurs médecins, technologues et autres. Grâce à ce simulateur, l'acquisition des images avec un vrai patient est plus rapide et de meilleure qualité.

Au CHUM, nous utilisons le simulateur d'échographie cardiaque communément appelé Bob pour la formation des résidents en cardiologie, les résidents des soins intensifs, ainsi que les technologues. La première semaine de leur formation, nous utilisons ce mannequin pour la reconnaissance des vues échographiques. Les étudiants mettent la sonde sur le sternum (Figure 11), voient les coupes échographiques en fonction des mouvements qu'ils effectuent en temps réel sur l'écran de télévision.

Il y a plusieurs avantages de commencer la formation avec un simulateur, car l'étudiant peut comprendre les vues échographiques en se référant à l'image 3D et à l'image échographique qui bougent en temps réel. (Figure 11) Il apprend à son propre rythme à reconnaître les structures du cœur ainsi que les vues échographiques correspondantes, ce qui facilite l'apprentissage.

Chaque petit mouvement de la sonde en échographie peut changer les images de façon importante, il est donc primordial de bien s'orienter dans l'espace.

La deuxième semaine de formation sert à consolider les acquis et à apporter certains correctifs sur les images avec le simulateur. Il est possible de faire toutes les mesures échographiques en utilisant le mannequin. Cela permet de corriger, si nécessaire, les mesures ainsi que la vue dans lesquelles nous désirons obtenir les mesures.

De plus, nous pouvons faire du Doppler couleur, du M-Mode, du Doppler continu et du Doppler pulsé. Le logiciel nous indique si les Dopplers sont mal alignés par rapport au

flux sanguin ce qui permet à l'étudiant d'apporter les correctifs nécessaires.

Nous pouvons également faire du bi plan à partir d'une seule image, optimiser tous les paramètres techniques d'imagerie soit la profondeur, le gain, la largeur d'interrogation et la compression d'image. Parmi les options du

logiciel, il est possible d'enlever ou de rajouter des artéfacts afin que l'étudiant puisse pratiquer avec des modèles qui ressemblent plus à la réalité de notre clientèle où dans certains cas, il est parfois difficile d'obtenir de belles images échographiques.

Avec le simulateur, des pathologies sont déjà programmées dans le logiciel par la compagnie CAE. De plus, nous avons accès à des pathologies plus complexes grâce à la collaboration de l'Institut de cardiologie de Montréal. Il est aussi possible de programmer les pathologies et les sélectionner en mode caché. Cette option permet à l'étudiant d'identifier la ou les pathologies tout en effectuant toutes les coupes échographiques.

À la troisième ou quatrième semaine, l'étudiant doit reconnaître les pathologies en ayant seulement la fenêtre échographique sans avoir accès à la structure anatomique en 3D. Pour les résidents, ils ont l'option de compléter un rapport échographique.

Pour les échographies transœsophagiennes (ETO), (Figure 12) la sonde utilisée est la même que celle pour les ETO faites au laboratoire. L'étudiant peut donc de façon sécuritaire et à son propre rythme, travailler les coupes, les angles et la reconnaissance des pathologies sans risques pour le patient.

Plusieurs articles scientifiques font l'éloge de l'utilisation du simulateur dans la formation des futurs médecins, technologues et autres. Grâce à ce simulateur, l'acquisition des images avec un vrai patient est plus rapide et de meilleure qualité.

Au CHUM, nous avons implanté un programme de formation pour les résidents en cardiologie avant le début de leur stage d'échographie; ce programme est sous la supervision d'un cardiologue et d'un technologue. Les résidents ont droit à une séance de trois heures sur le simulateur afin de se familiariser avec l'échographie et certaines pathologies qu'ils pourraient rencontrer au cours de leur garde en cardiologie. Quatre pathologies retrouvées en situation d'urgence y sont abordées : l'embolie pulmonaire, la dissection aortique, l'infarctus, l'épanchement péricardique et la tamponnade. Le groupe est divisé en deux : le premier groupe voit la théorie avec la cardiologue et par la suite, il va appliquer les notions apprises sur le simulateur avec la technologue, et vice-versa. Depuis l'utilisation du simulateur d'échographie cardiaque, nous avons observé une amélioration dans l'acquisition



Figure 12 : Bob en ETO

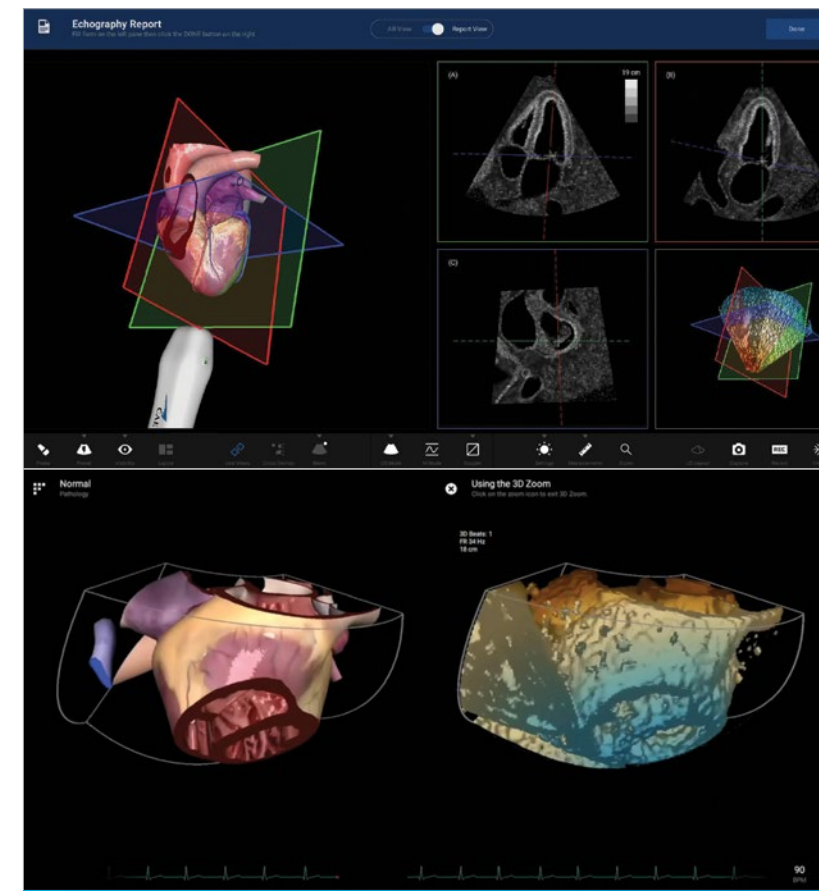


Figure 13 a et b : Reconstruction multiplans 3D et multiplans 4D.



Figure 14 : CAE VimedixAR – réalité virtuelle.

des images, la rapidité d'exécution, la compréhension, la reconnaissance des pathologies, la limite technique chez les patients qui présentent des images techniquement plus difficiles. Quant aux résidents, cette formation leur permet d'être plus à l'aise avec certaines situations d'urgence.

Il est beaucoup moins stressant pour l'étudiant qui éprouve des difficultés techniques de travailler sur le simulateur que sur un patient. Pour l'enseignant, la validation des acquis devient plus facile. En plus d'améliorer la technique, l'étudiant peut valider ses connaissances théoriques en utilisant le logiciel des pathologies programmées. Il peut même se mettre au défi en utilisant le logiciel qui simule un examen théorique et pratique. Pour les résidents, au-delà de l'amélioration technique et théorique, ils peuvent s'exercer à faire des rapports avec le simulateur de rapports autant en échographie transthoracique qu'en échographie transoesophagienne.

Au CHUM, le simulateur est aussi utilisé pour d'autres programmes de formation. Nous avons aussi une sonde abdominale, et le département de radiologie l'utilise pour des formations en échographie générale.

Durant la période estivale, nous avons un programme pour les étudiants

du secondaire qui se dirigent dans un programme en santé. Ceux-ci, après une sélection, visitent différents départements afin de se familiariser avec quelques secteurs de la santé. Ils ont une semaine de formations : l'échographie cardiaque sur simulateur, (Figure 11) l'échographie générale, (Figure 10) les points de suture sur le simulateur de chirurgie, le jeu de dextérité chirurgicale sur le simulateur de laparoscopie, (Figures 7 et 8) la simulation d'un accouchement sur Lucina (Figure 5) et la prise de signes vitaux avec Juno et Apolo. (Figure 3)

#### L'avenir...

Depuis mai 2021, une mise à jour nous est proposée avec le simulateur VIMEDIX version 3.2. Ce simulateur a la capacité d'effectuer de la 3D et de la 4D avec la reconstruction multiplans. (Figures 13, a et b)

#### Fonctions de téléapprentissage

Plates-formes de vidéoconférences audiovisuelles simplifiées pour les programmes virtuels, simulations d'échographie à distance pour les étudiants. <https://www.caehealthcare.com/fr/>.

Cette nouvelle version améliorée de simulateur sera encore plus

performante et d'une grande utilité pour les technologues et résidents afin de leur permettre de comprendre et d'appliquer le 3D et le 4D qui sont les techniques d'avenir en échographie. Le CAE VimedixAR combinant la réalité virtuelle (Figure 14) permet de voir l'anatomie en réalité virtuelle pendant l'acquisition des images.

La reconstruction d'image à partir du 3D et du 4D est une technique qui demande une grande expertise et plusieurs heures de pratique. Pouvoir pratiquer et développer cette expertise est essentiel dans un laboratoire d'échographie cardiaque qui se veut à la fine pointe de la technologie; avec les contraintes de temps et les demandes d'examen de plus en plus grandes, cette nouvelle version de simulateur pourra nous aider à effectuer des images de meilleure qualité.

#### RÉFÉRENCE

<https://www.caehealthcare.com/fr/>

#### FIGURES

1 à 10, 12, 13, 14 – <https://www.caehealthcare.com/fr/>

11 – Bibliothèque du CHUM

# Une nouvelle avenue pour le diagnostic des glioblastomes multiformes : le <sup>68</sup>Ga-PSMA

## COMPRENDRE LE RÉEL POTENTIEL DU <sup>68</sup>Ga-PSMA DANS L'ÉVALUATION DES CANCERS NON PROSTATIQUES.



Alyson Jolin  
I.M. (MN)

CHU de Québec

### Introduction

Poser un diagnostic et évaluer la réponse aux traitements dans les cas de cancer de la prostate est un défi encore dur à relever à ce jour. La mesure du taux d'APS (antigène prostatique spécifique) dans le sang et la mise en image conventionnelle (CT) ont tout de même leurs limites pour émettre un diagnostic clair et connaître le stade précis du cancer et par conséquent, le pronostic. Les deux méthodes ont leur limitations, dû au fait que des hyperplasies bénignes de la prostate ou des prostatites exprimeront aussi un taux d'APS dans le sang plus élevé que la normale, ce qui entraîne des faux positifs, et que le CT n'est pas assez sensible pour ce type de pathologie; les cancers de la prostate se propageant fréquemment sous forme de petits ganglions sous le seuil diagnostique de cette modalité.

Pour réussir à imaginer les cancers de la prostate et aider au travail des oncologues, des urologues, des radio-oncologues et des autres intervenants, différents traceurs ont été utilisés à la TEP (tomographie par émission de positrons) tels que le <sup>18</sup>F-FDG,

le <sup>11</sup>C-Acétate, le <sup>18</sup>F-Choline et le <sup>11</sup>C-Choline. Néanmoins, plusieurs se sont avérés ne pas être des marqueurs assez spécifiques ou assez sensibles pour la détection de ce type de cancer ou alors ont rencontré d'autres contraintes telles que des problèmes d'accessibilité ou de demi-vie trop courte dans le cas du <sup>11</sup>C (demi-vie de 20,38 minutes). Il était donc essentiel de trouver un autre traceur pouvant mettre en image la néoplasie elle-même, mais aussi le système lymphatique et le système osseux, puisque des métastases peuvent être retrouvées à ces endroits sans même que l'APS soit augmenté dans le sang.<sup>1</sup> Un biomarqueur beaucoup plus spécifique a été identifié à la surface des cellules prostatiques à la suite de ces multiples essais.

### <sup>68</sup>Ga-PSMA

Cette dite protéine est appelée *glutamate carboxypeptidase II*. Celle-ci est exprimée principalement dans quatre tissus du corps : l'épithélium de la prostate, les tubules proximaux du rein, la bordure en brosse jéjunale de l'intestin grêle et les ganglions du système nerveux. Les neuroscientifiques utiliseront principalement le terme NAALADase dans leurs études, tandis que ceux qui étudient le métabolisme du folate utilisent la folate hydrolase et ceux qui étudient le cancer de la prostate ou l'oncologie, le PSMA (*Prostate specific membrane antigen*). Tous font référence à la même protéine : le glutamate carboxypeptidase II.

Le taux de PSMA chez un patient ayant un carcinome de la prostate sera surexprimé de 10 à 80 fois plus que chez un patient ayant une prostate normale. Cela indique clairement

1 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5439210/>



Tout indique que les possibilités pour l'utilité du <sup>68</sup>Ga-PSMA sont infinies.

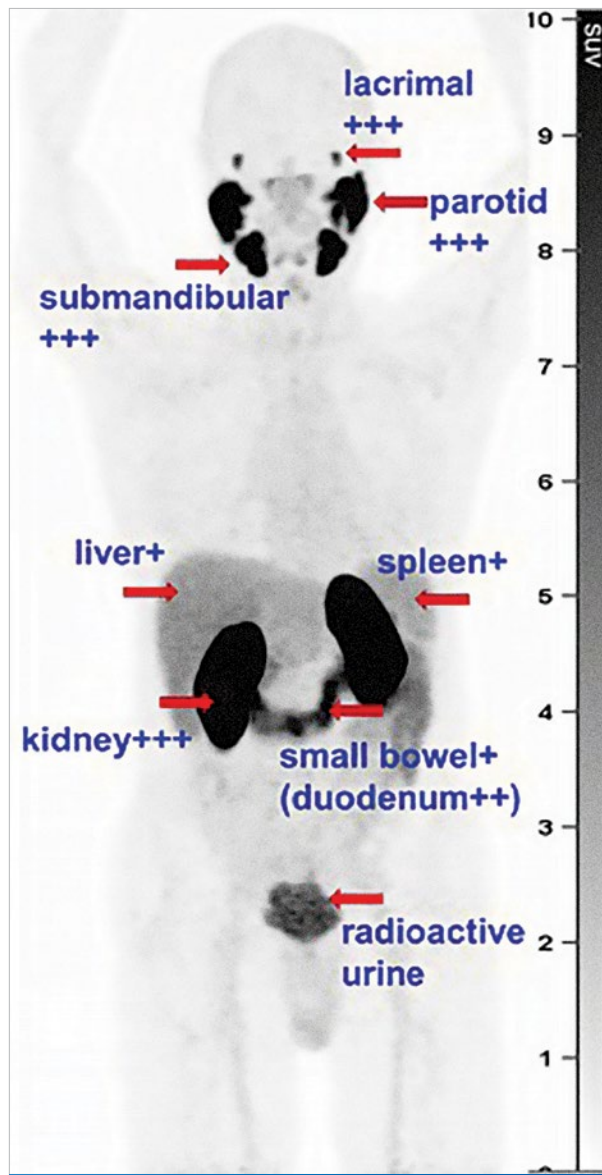


Figure 1 : Distribution normale du <sup>68</sup>Ga-PSMA dans le corps.

que le taux de PSMA dans le sang joue un rôle important dans la détection de ce carcinome. À la suite de cette découverte, il était alors très utile de marquer un ligand de cette molécule avec un isotope radioactif émetteur de positrons tel que le <sup>68</sup>Ga ou le <sup>18</sup>F pour être en mesure de l'imager à la TEP. Le ligand du PSMA marqué au <sup>68</sup>Ga est effectivement désormais indiqué pour les patients ayant un cancer de la prostate avec métastases qui sont potentiellement traitables à l'aide d'une chirurgie ou de la radiothérapie ou pour les patients suspects d'avoir une récurrence de la néoplasie.

Maintenant, après plusieurs centaines de séries d'images pancorporelles au <sup>68</sup>Ga-PSMA, il est possible d'affirmer que les lésions hypercaptantes visualisées, outre les structures ou les variantes normales (Figure 1), sont soit la tumeur primaire, soit des métastases de cette tumeur. Toutefois, quelques nouveaux foyers d'hypercaptations ont été découverts fortuitement et un de ceux les plus reportés sera abordé dans ce texte.

#### Histoire du fdg-autres utilisations

Si l'on se rappelle l'utilité de base du <sup>18</sup>F-FDG, la molécule avait d'abord été développée pour l'intérêt qu'elle suscite envers la recherche sur le métabolisme cortical cérébral. Au final, des foyers d'hyperactivité au niveau ORL qui pouvaient démontrer certaines néoplasies ont été découverts de manière fortuite. Les recherches ont donc été poussées un peu plus pour être capable de diagnostiquer d'autres types de cancers dans tout le corps sur des études complètes, comme celles réalisées de nos jours. Dans les études présentement réalisées au <sup>68</sup>Ga-PSMA, le radio-isotope est principalement utilisé dans la recherche du carcinome de la prostate. Pourrait-il alors être utilisé pour diagnostiquer ou pour fournir de l'information sur des conditions autres que le cancer de la prostate ? Tout indique que les possibilités pour l'utilité du <sup>68</sup>Ga-PSMA sont infinies.

Comme mentionné précédemment, on appelle la molécule PSMA étant donné l'intérêt qu'elle suscite dans la recherche du carcinome de la prostate et puisque c'est un nom plus simple et commercial pour cette étude. Toutefois, il est important de se rappeler que la molécule qui se présente dans la prostate, la glutamate carboxypeptidase II, est aussi

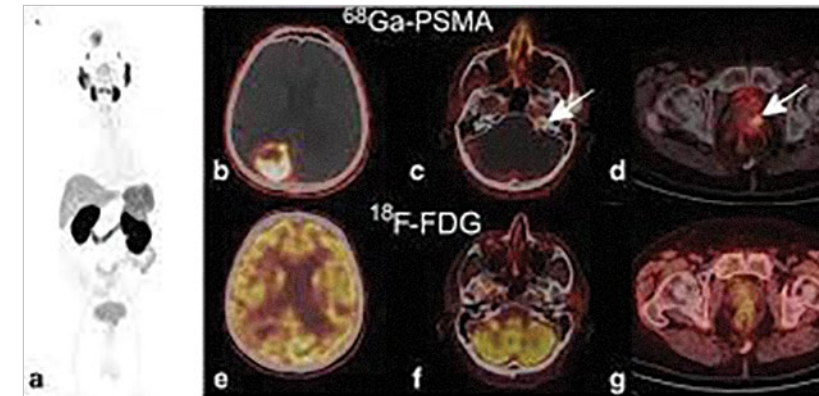


Figure 2 : Découverte d'un glioblastome multiforme captant le <sup>68</sup>Ga-PSMA chez un patient ayant un carcinome de la prostate.

Néanmoins, suite à la résection totale du glioblastome multiforme et à la thérapie, on observe un taux de récurrence de la tumeur entre 80% et 90%<sup>3</sup>, ce qui est énorme comme statistique.

exprimée ailleurs dans le corps, dont à la surface de certains cancers (côlon, œsophage, thyroïde, reins, etc.). Conséquemment, sur certaines images de patients ayant été injectés au <sup>68</sup>Ga-PSMA, il a été possible de détecter fortuitement des glioblastomes multiformes, par exemple. (Figure 2)

#### Le glioblastome multiforme

Le glioblastome multiforme (GBM) est le type le plus courant et le plus agressif de tumeur cérébrale primaire maligne. Les cellules de ces tumeurs se développent très rapidement, ne sont pas bien définies et peuvent se propager dans l'encéphale, ce qui en résulte une maladie qui est très agressive et qui ne se développe pas juste en masse, mais qui est aussi énormément infiltrative dans tout le cerveau. Le glioblastome représente 12-15% de toutes les tumeurs intracrâniennes et 50-60% des tumeurs astrocytaires<sup>2</sup>.

Pour être capable de traiter une telle tumeur, la première étape consiste à retirer la masse primaire qui cause une pression accrue dans le cerveau et qui engendre souvent des maux de tête; le symptôme le plus courant dans les cas de GBM. Étant donné sa capacité à envahir et à infiltrer le tissu cérébral périphérique normal, il est presque impossible de réussir une résection complète. Il y a un taux d'échec à la chirurgie simple qui est relativement élevé. Habituellement, l'équipe oncologique décidera également d'attaquer la partie la plus infiltrative de la tumeur et les cellules tumorales restantes avec des traitements de radiothérapie. Néanmoins, à la suite de la résection totale du glioblastome multiforme et à la thérapie, on observe un taux de récurrence de la tumeur entre 80% et 90%<sup>3</sup>, ce qui est énorme comme statistique.

Maintenant, comment pouvons-nous diagnostiquer cette tumeur ou prévenir une récurrence de celle-ci ? Comme n'importe quelle lésion, lorsqu'elle est imagée par résonance magnétique (IRM), il est souvent difficile de faire la différence entre la

<sup>2</sup> [https://www.brainumour.ca/fr/types\\_de\\_tumeurs\\_cerebrales/glioblastome/](https://www.brainumour.ca/fr/types_de_tumeurs_cerebrales/glioblastome/)

<sup>3</sup> 68Ga-Prostate-Specific Membrane Antigen-11 PET/CT: A New Imaging Option for Recurrent Glioblastoma Multiforme? - PubMed (nih.gov)

**Le bruit de fond extrêmement faible dans le tissu cérébral normal et, par conséquent, le rapport tumeur/cerveau élevé rendent la TEP/CT au <sup>68</sup>Ga-PSMA très prometteuse pour le diagnostic de la maladie récurrente chez les patients atteints de glioblastomes multiformes.**

radionécrose ou une récurrence locale (Figure 3). Assurément, s'il y a présence d'une grosse masse nodulaire qui progresse, la réponse sera évidente (Figure 4). Autrement, le diagnostic peut s'avérer très difficile à poser. En ce qui concerne l'utilité du PSMA dans le diagnostic du glioblastome multiforme, théoriquement, l'imagerie à la TEP serait capable de faire cette différence. En d'autres termes, sans récepteurs du ligand du PSMA, comme dans un cas de radionécrose pure et simple, le radio-isotope ne devrait pas se rendre à cet endroit et s'y accumuler. Dans le cas contraire, s'il y a une récurrence de la maladie, on devrait constater une hypercaptation focale dans le cerveau. Le bruit de fond extrêmement faible dans le tissu cérébral normal et, par conséquent, le rapport tumeur/cerveau élevé rendent la TEP/CT au <sup>68</sup>Ga-PSMA très prometteuse pour le diagnostic de la maladie récurrente chez les patients atteints de glioblastomes multiformes.

#### Recherche

Il faut se rappeler que nous sommes au tout début de ces recherches et que très peu de données sont disponibles, autant pour le diagnostic du GBM à l'aide du <sup>68</sup>Ga-PSMA que pour ce qui concerne les récurrences, les métastases, l'inflammation autour de la tumeur, la radionécrose, etc. Les séries sont petites et il y a un immense vide de la littérature qui demande certainement à être comblé. Quelques études ont été réalisées où des glioblastomes multiformes ont capté le <sup>68</sup>Ga-PSMA lors de découvertes fortuites et certaines évaluations ont été faites à ce sujet, mais il n'est toujours pas possible de savoir si ce sont tous les glioblastomes multiformes qui peuvent le capté. En effet, cette pathologie (GBM) est un spectre avec différents grades, mutations, et l'omniprésence de la surexpression du PSMA est encore incertaine.

À l'Hôtel-Dieu de Québec, un protocole de recherche d'imagerie au <sup>68</sup>Ga-PSMA a été créé, dont le but est essentiellement l'accessibilité de la molécule à la population, en attendant une éventuelle démarche de l'industrie auprès des instances gouvernementales. Les résultats primaires et secondaires à analyser (*primary and secondary outcome*), comme dans plusieurs autres projets de recherche de ce type, sont la sécurité de l'administration, la biodistribution, la sensibilité, la spécificité et les paramètres sur des cancers de la prostate. Cependant, le protocole soumis, et subséquemment accepté, au comité d'éthique du CHU de Québec ne se limite pas au cancer de la prostate. De ce fait, l'analyse de la biodistribution dans d'autres tumeurs ayant des chances de capté le <sup>68</sup>Ga-PSMA est possible. L'Hôtel-Dieu de Québec sera donc apte à évaluer ce qui sera visualisé lors de découvertes fortuites ou même dans d'autres néoplasies primaires, tels que le GBM. Le protocole est très large et le projet devrait débuter sous peu.

#### Potentiel

Le glutamate carboxypeptidase II peut être aussi marqué avec d'autres ligands émetteurs de positrons comme le <sup>18</sup>F si on pense au <sup>18</sup>F-DFCPL, par exemple. Un des points forts du <sup>68</sup>Ga est qu'il peut être produit à l'aide d'un générateur



Figure 3 : Cas de radionécrose au niveau du cerveau à la suite d'un traitement de radiothérapie locale.

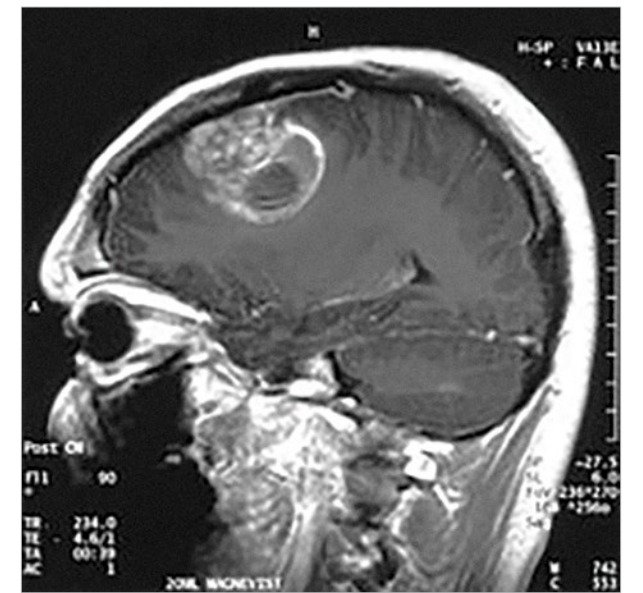
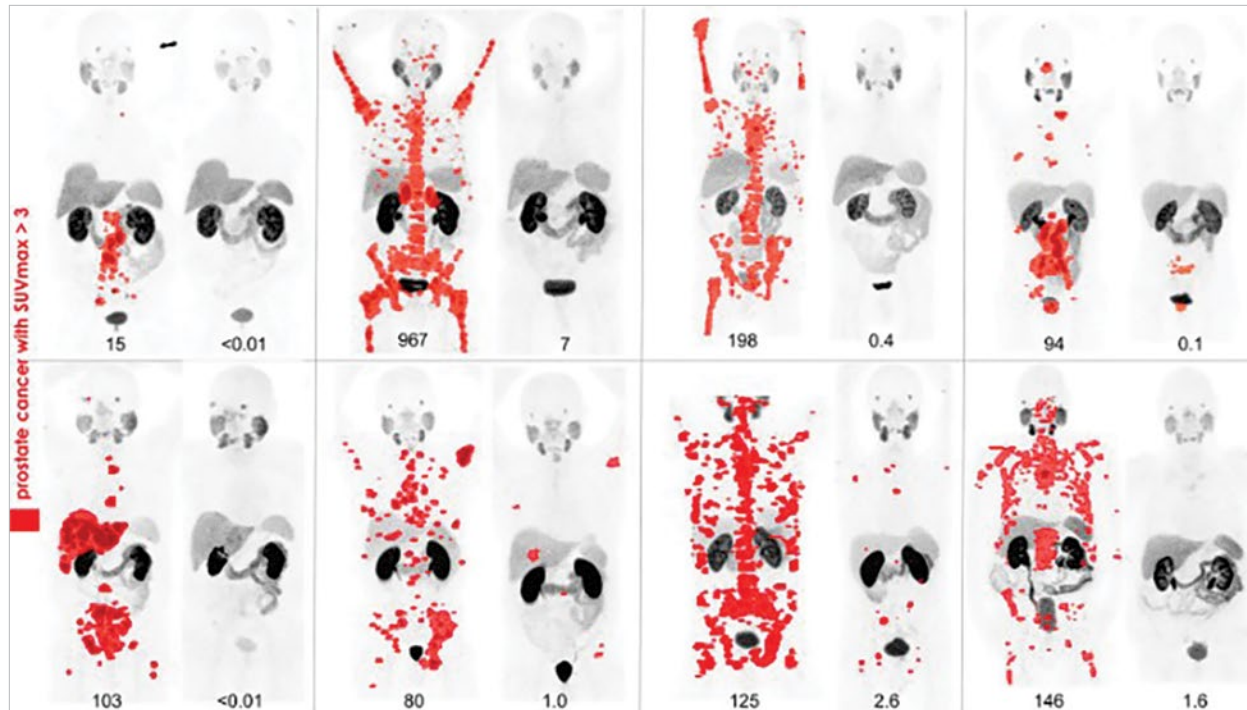


Figure 4 : Visualisation d'un glioblastome multiforme chez un enfant de 15 ans. IRM cérébrale avec injection de produit de contraste, coupe sagittale.



**Figure 5 :** TEP/CT au  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 avant et 3 mois après le traitement chez 8 patients avec une baisse de l'APS  $\geq 98\%$  après le traitement au  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA.

$^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ , ce qui, avec une radiopharmacie sur place, permet la synthèse à l'aide des trousseaux froids lyophilisés. Un autre avantage des molécules liées au  $^{68}\text{Ga}$  est que souvent, celles-ci dépendent d'un chélateur (ex. : DOTA) qui permet de la lier avec du  $^{177}\text{Lu}$ . Le  $^{18}\text{F}$ -DFCpYL permet d'obtenir une très bonne qualité d'image, sans cyclotron ou générateur local vu la demi-vie plus longue du fluor. Toutefois, si on parle de théranostique, il est désavantagé puisqu'on ne peut pas le marquer avec du  $^{177}\text{Lu}$  pour un éventuel traitement. Certains groupes tentent actuellement de développer des molécules pouvant être marquées à la fois au  $^{18}\text{F}$  et au  $^{177}\text{Lu}$ .

Théoriquement, s'il est possible de traiter au  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA les cancers de la prostate qui captent au  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA (Figure 5), on pourrait aussi traiter d'autres types de cancers ou de pathologies. On se rappellera que c'est le même principe pour traiter des tumeurs neuroendocrines bien différenciées avec du  $^{177}\text{Lu}$ -octréotate qui ont été détectées au  $^{68}\text{Ga}$ -octréotate.

« En imageant des patients ayant été injectés au  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA et

en évaluant tous les paramètres des autres tumeurs qui captent le radio isotope, est-ce qu'un jour la médecine nucléaire pourrait être une option de diagnostic pour les glioblastomes multiformes ? Serait-il possible d'essayer de traiter ceux-ci avec du  $^{177}\text{Lu}$  et quelle serait la réponse thérapeutique ? » Ce sont des questions que j'ai posées au Dr Alexis Beaulieu, nucléiste au CHU de Québec, lors d'un entretien.

« La place précise des radioligands marquant le PSMA dans l'évaluation du GBM demeure imprécise, puisqu'elle n'a pas encore été évaluée de manière individuelle et approfondie. À l'heure actuelle, le diagnostic se fait, par exemple, par résonance magnétique et par biopsie. Toutefois, pour l'évaluation de l'atteinte à distance, le CT est utilisé. Se pourrait-il que la TEP/CT au  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA remplace cette modalité ? Alors, quelle serait la place de la TEP/CT ? En a-t-elle ? Toutes ces questions demeurent actuellement sans réponse.

L'imagerie au  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA pourrait servir d'imagerie pré et post traitement, de suivi et servir à différencier

la récurrence néoplasique de la radionécrose. Pour ce qui est de la théranostique, les GBM sont des tumeurs qui sont très agressives et lorsqu'elles seront visualisées, elles seront souvent plus avancées et une thérapie peptidique ciblée avec des émetteurs  $\alpha/\beta$  ne sera vraisemblablement pas la première option de traitement. Toutefois, on pourrait utiliser un peu le même principe qu'avec un patient atteint d'un cancer de la prostate où l'on tente un traitement radical local le plus possible, mais s'il y a une atteinte métastatique, on injecte du  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA au patient et on tente de contrôler ce qui peut rester de néoplasie et de métastases. En présence d'un glioblastome multiforme, on pourrait l'opérer, faire une radiothérapie pan-crânienne puis administrer une thérapie à base de  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA. Est-ce que ça changerait quelque chose sur la survie ou non ? C'est difficile à dire, ce sont de nouvelles molécules, c'est tout jeune. Rappelons que les études cliniques actuelles pour la prostate s'effectuent en fin de lignes de thérapie, après échec d'ARAT (Androgen Receptor

Axis-Targeted therapy) et de chimiothérapie conventionnelle. La route est donc très longue avant une potentielle incursion dans l'algorithme de traitement d'autres tumeurs. On sait toutefois que le PSMA peut servir comme traceur de la maladie, maintenant est-ce qu'on peut s'en servir comme thérapie à l'instar du cancer de la prostate ? Pour une fois, la médecine nucléaire pourrait-elle devenir un joueur au même titre que la chimiothérapie ou que la radiothérapie ? » a été une partie de la réponse du Dr Beaulieu.

Bien que l'expression du PSMA dans les GBM récurrents ouvre également une voie potentielle pour une thérapie peptidique ciblée avec des émetteurs  $\alpha/\beta$  ainsi que pour la prédiction du traitement avec des agents antiangiogéniques, le faible rapport tumeur/foie observé chez la majorité des patients de cette étude suggère un rôle limité des ligands du PSMA radiomarqués pour la thérapie aux radionucléides ciblée des GBM récurrents.

### Conclusion

Alors que le  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA à la TEP/CT devient un outil de plus en plus utilisé dans la détection du cancer de la prostate, la connaissance de la distribution physiologique normale, de la variation de celle-ci et de l'accumulation du PSMA dans les pathologies non prostatiques est de plus en plus importante pour optimiser l'interprétation des images. Un apprentissage continu et à jour reste essentiel dû aux nouvelles pathologies continuellement identifiées grâce au traceur : le  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA. D'autres études sont nécessaires non seulement pour comprendre le mécanisme d'absorption du traceur dans divers autres tissus, mais également pour établir l'avantage et le réel potentiel du produit dans l'évaluation des cancers non prostatiques tels que le carcinome rénal fluorodésoxyglucose négatif, le cancer du sein ou le glioblastome multiforme.

### RÉFÉRENCES

- 1 – <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/rg.2018170108> Prostate-specific Membrane Antigen PET. Clinical Utility in Prostate Cancer. Normal Patterns, Pearls, and Pitfalls | RadioGraphics (rsna.org)
- 2 – <https://www.google.ca/search?q=glioblastome+multiforme+ga+68+psma&tbm=isch&safe=active&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKewi616mLsqfzAhUUqnIHTZBFgQBx0EAEQNA&biw=1903&bih=969#imgre-lQuYRuODXOq-BM> glioblastome multiforme  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA
- 3 – <https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.325125002> Radiation Necrosis in the Brain: Imaging Features and Differentiation from Tumor Recurrence | RadioGraphics (rsna.org)
- 4 – [https://fr.wikipedia.org/wiki/Glioblastome\\_multiforme](https://fr.wikipedia.org/wiki/Glioblastome_multiforme) Glioblastome multiforme – Wikipédia (wikipedia.org)
- 5 – of Nuclear Medicine and Molecular Imaging [https://www.braintumour.ca/fr/types\\_de\\_tumeurs\\_cerebrales/glioblastome/](https://www.braintumour.ca/fr/types_de_tumeurs_cerebrales/glioblastome/)

### FIGURES

- 1 – Distribution normale du  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA dans le corps. Prostate-specific Membrane Antigen PET. Clinical Utility in Prostate Cancer. Normal Patterns, Pearls, and Pitfalls | RadioGraphics (rsna.org)
- 2 – Découverte d'un glioblastome multiforme captant le  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA chez un patient ayant un carcinome de la prostate. glioblastome multiforme ga 68 psma
- 3 – Cas de radionécrose au niveau du cerveau suite à un traitement de radiothérapie locale. Radiation Necrosis in the Brain: Imaging Features and Differentiation from Tumor Recurrence | RadioGraphics (rsna.org)
- 4 – Visualisation d'une glioblastome multiforme chez un enfant de 15 ans. IRM cérébrale avec injection de produit de contraste, coupe sagittale. Glioblastome multiforme – Wikipédia (wikipedia.org)
- 5 – TEP/CT au  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 avant et 3 mois après le traitement chez 8 patients avec une baisse de la PSA  $\geq 98\%$  après le traitement au  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA. Image of the Year at 2018 Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging.

### REMERCIEMENTS

Un énorme merci au Dr Alexis Beaulieu pour son temps et le partage de ses connaissances.

**FONDS**  
de solidarité FTQ

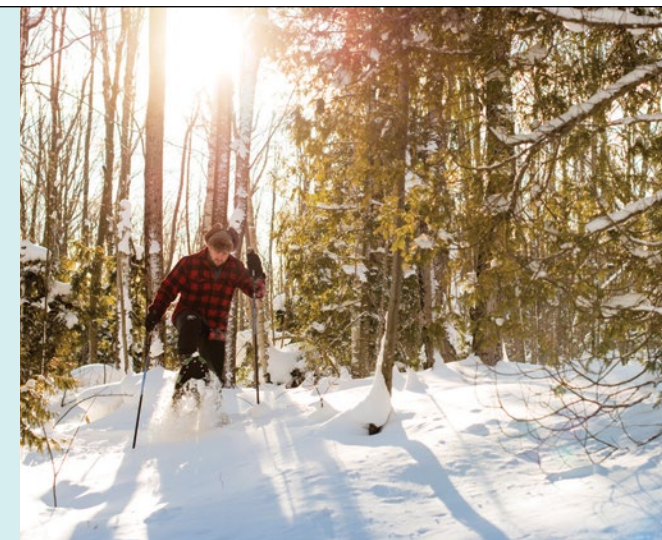
S'INVESTIR POUR  
UNE MEILLEURE SOCIÉTÉ.

## Cotisez à même votre salaire.

Avec la retenue sur le salaire, vous pouvez épargner de façon automatique en fixant vous-même le montant prélevé. Facile !

Pour en savoir plus  
[fondsftq.com/cotiser](https://fondsftq.com/cotiser)

Veillez lire le prospectus avant d'acheter des actions du Fonds de solidarité FTQ. Vous pouvez vous procurer un exemplaire du prospectus sur le site Web [fondsftq.com](https://fondsftq.com), auprès d'un responsable local ou aux bureaux du Fonds de solidarité FTQ. Les actions du Fonds de solidarité FTQ ne sont pas garanties, leur valeur fluctue et leur rendement passé n'est pas indicatif de leur rendement dans l'avenir.





# L'intelligence artificielle et son apport aux techniques de radiologie

## L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, UNE 4<sup>e</sup> RÉVOLUTION ENTRE LES MAINS DES TECHNOLOGUES.

N. B. Cet article est une partie d'une conférence complète que vous pouvez trouver dans les trousseaux de formation en ligne (2021) de l'OTIMROEPMQ.



**Mohamed Khelif,**  
t.i.m.

Coordonnateur technique en imagerie médicale  
CIUSSS Ouest de l'île, Hôpital de LaSalle

L'intelligence artificielle (IA) est actuellement sur toutes les lèvres. D'un côté économique, c'est un marché qui vaut des milliards de dollars en chiffre d'affaires. C'est un domaine qui est dominé par l'Amérique du Nord, la Chine et l'Europe; le reste du monde ne tardera pas à rejoindre cette évolution. La nation qui maîtrisera cette technologie guidera sûrement le monde !. Regardons autour de nous, l'IA, la 4<sup>e</sup> révolution, mais aussi l'équivalent de la nouvelle électricité, a envahi tous les domaines : montres intelligentes, téléphones intelligents, drones, casques de réalité augmentée, chat box, robots domestiques, voitures autonomes, reconnaissances faciale et vocale... Quant au domaine de la santé, l'IA s'est imposée vu ses divers apports pour les patients. Riche en données (images DICOM, textes...), l'imagerie médicale est la spécialité médicale qui guide les recherches en IA.

Sans détailler les aspects techniques et informatiques, nous présentons, dans cet article, des exemples de solutions s'appuyant sur les technologies d'IA qui peuvent améliorer les activités aux départements de radiologie et assister directement les technologistes en imagerie médicale.

### L'IA et la radiologie

Presque toutes les informations sur l'IA abordent ses avantages pour les radiologistes. Tout simplement, cela les aidera à gagner du temps et à donner

**L'avenir de l'IA sera l'automatisation pour aider à améliorer la qualité de l'image, simplifier les processus manuels et améliorer la qualité des diagnostics avec de nouvelles façons d'analyser les données.**

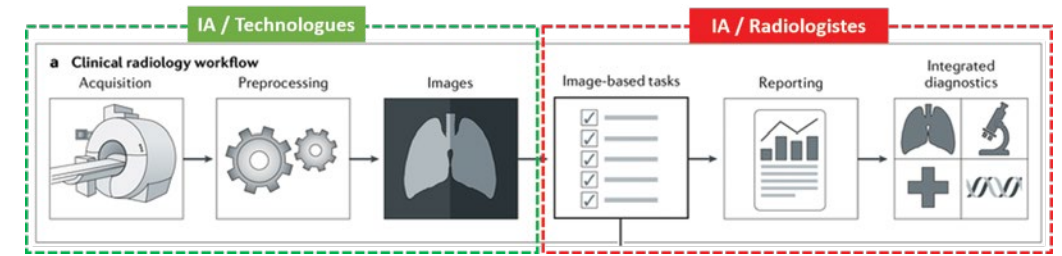


Figure 1 : Domaines d'intervention de l'IA pour les technologistes.

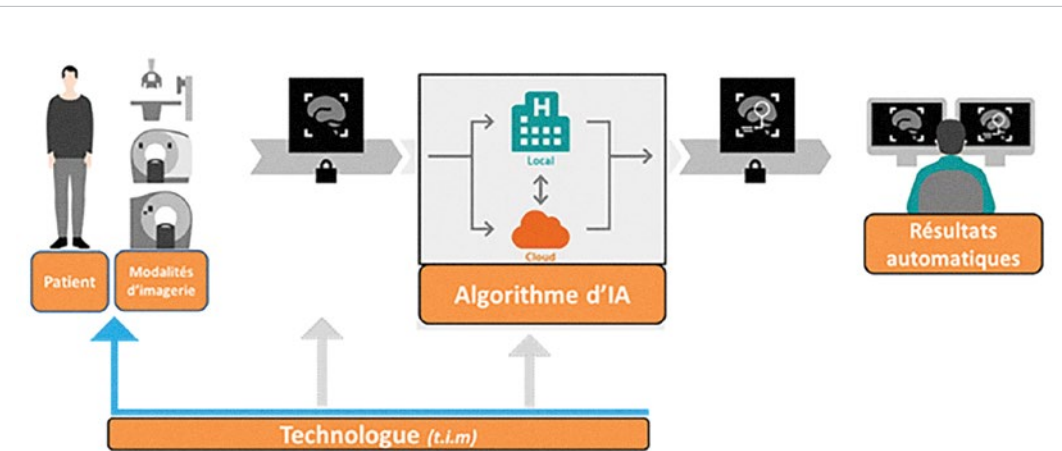


Figure 2 : Place du technologue dans une chaîne de diagnostic.

des diagnostics plus précis avec plus d'efficacité et plus de confiance. L'IA les assistera dans leurs décisions cliniques : analyse de données, reconstruction d'images, identification des maladies, automatisation des mesures, identification de l'anatomie, visualisation avancée.

Les tâches des technologistes sont presque entièrement techniques. Des applications d'IA existent aussi pour améliorer le flux de travail des technologistes. Ainsi, l'automatisation de ces tâches, l'introduction de solutions technologiques dans l'acquisition et le contrôle qualité des images et la gestion de l'exposition seront très avantageuses et transformeront la profession dans le futur. (Figure 1) Les fournisseurs d'appareillage radiologique disent que

l'IA est là pour rester. Ils expliquent que l'avenir de l'IA sera l'automatisation pour aider à améliorer la qualité de l'image, simplifier les processus manuels et améliorer la qualité des diagnostics avec de nouvelles façons d'analyser les données. Selon une enquête réalisée par l'American Society of Radiologic Technologists (ASRT), 34,5% des technologistes utilisent, la plupart du temps, des outils de l'IA, ce qui donne des effets positifs à leur travail. Plus de la moitié considère l'IA utile pour le débit de travail, la créativité et la responsabilité. Selon eux, la reconnaissance des artefacts de mouvement, le contrôle de l'exposition aux rayonnements, et la qualité et le traitement des images sont les domaines qui profitent de l'IA.

### Place de l'IA pour aider les technologistes

Dans la chaîne de diagnostic, le technologue en imagerie médicale représente un lien direct entre le patient, la machine, et le radiologiste ou le médecin traitant. Il accueille et rassure le patient, lui explique la réalisation de l'examen radiologique et effectue l'examen et contrôle la qualité des images obtenues. Avec l'adoption des techniques d'IA dans un département de radiologie, le technologue voit ses tâches encore élargies. (Figure 2) Il sera responsable de l'utilisation de l'interface informatique, du fonctionnement du logiciel et du contrôle de la qualité des résultats. Les principaux domaines d'impact de l'IA sur les

## Avec l'adoption des techniques d'IA dans un département de radiologie, le technologue voit ses tâches encore élargies.

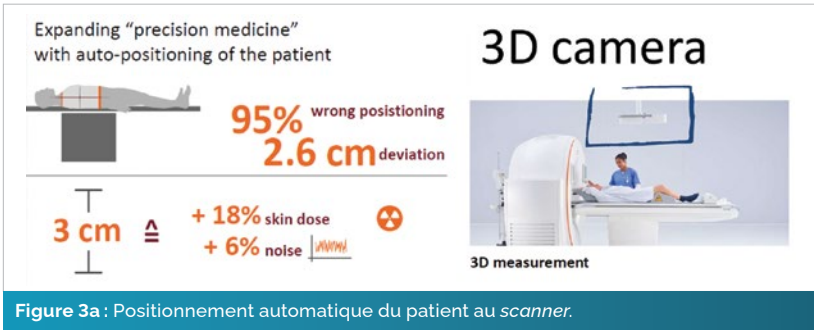


Figure 3a : Positionnement automatique du patient au scanner.

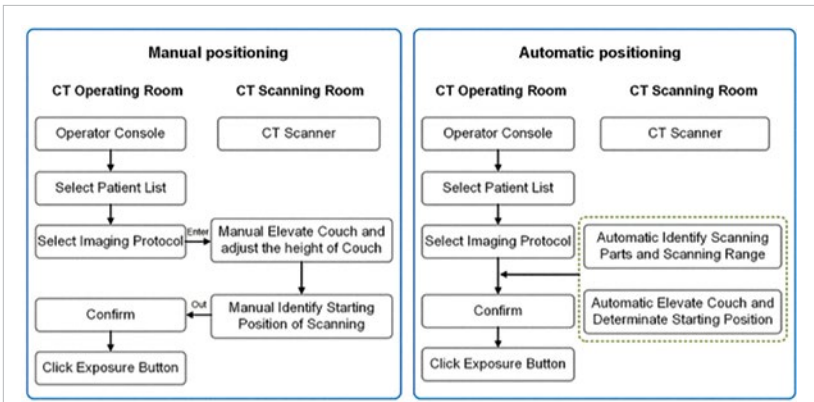


Figure 3b : Comparaison des méthodes de positionnement en scanner lors de la pandémie de COVID-19 en Chine.

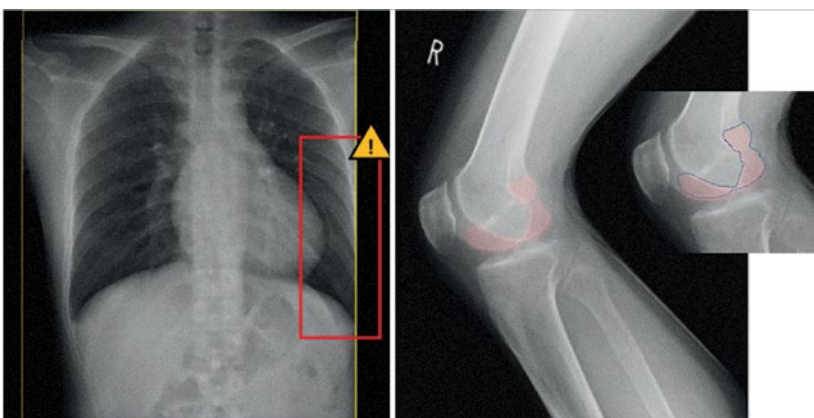


Figure 4 : Logiciel d'IA qui détecte les rejets d'images en graphie.

tâches du technologue sont la gestion des patients, la planification, l'acquisition et le post-traitement. Plusieurs tâches seront automatisées et d'autres deviendront plus faciles à réaliser. La vérification de la double identité, la sélection du protocole, l'analyse du scanogramme, le positionnement des coupes, la gestion du produit de contraste, l'acquisition automatique, la réduction de la dose, la réduction du temps du scan, l'assurance de la qualité, la reconstruction et la documentation sont toutes des tâches que la machine sera capable de réaliser à la place du technologue.

### Le positionnement et la gestion du patient

En tomodensitométrie, un mauvais positionnement du patient sur la table d'examen est responsable d'une augmentation de la dose d'irradiation à la peau et d'un bruit élevé sur l'image. Des logiciels d'IA peuvent positionner automatiquement le patient à l'isocentre de l'appareil avec une grande précision à l'aide de caméras 3D situées dans la salle d'examen. (Figure 3 a) D'autres logiciels sont capables de détecter les artéfacts sur le scanogramme, d'appliquer le protocole voulu et d'arrêter l'acquisition à l'organe voulu. Pendant la première vague de la COVID-19 en Chine, l'utilisation du positionnement automatique dans la salle de scanner a permis de diminuer le temps de contact avec les patients à risque et limiter ainsi la contamination! (Figure 3b)

Il existe des logiciels qui peuvent assister directement le technologue dans la réalisation de l'examen. Ils corrigent le positionnement et la procédure. Certains détectent automatiquement les rejets d'images. Ces applications incluent la détection

automatique des anomalies du champ pulmonaire et le flou des images, et nous proposent une correction de la technique de réalisation. (Figure 4)

Les fournisseurs d'appareillage radiologique se concentrent actuellement sur la meilleure solution possible pour augmenter le flux de travail et garantir le confort du patient et du technologue. Le positionnement « intelligent » du patient, parmi les fonctionnalités automatisées basées sur l'IA, est actuellement un sujet de concurrence. Des appareils sur le marché permettent un déplacement **automatique** du tube à rayons X, détectent **automatiquement** la taille du patient et limitent **automatiquement** la collimation. En graphie, à l'aide d'une caméra 3D, un algorithme détecte automatiquement le thorax et définit la meilleure collimation, ce qui garantit des structures anatomiques bien visualisées et au complet. Le temps de contact avec les patients sera réduit et la dose de rayonnement sera focalisée uniquement sur la zone concernée avec une exposition la plus faible possible. C'est toujours possible d'ajuster la zone de collimation manuellement. (Figure 5)

En IRM, le positionnement des « boîtes » est de plus en plus automatique grâce à la capacité des logiciels à détecter et à reconnaître les structures anatomiques. Ils orientent les boîtes dans la direction du corps calleux pour un examen du cerveau et annotent et « labelisent » automatiquement les vertèbres de la colonne, ce que permet de gérer l'emplacement exact des boîtes. D'autres détectent la pathologie et placent la boîte directement pour la couvrir, facilitant ainsi un déroulement rapide de l'examen. (Figures 6 et 7)

Au scanner, le technologue questionne son patient, l'informe et le prépare à son examen, puis il procède à l'acquisition des images. Le travail est par la suite laissé à l'IA. Des algorithmes vont améliorer la qualité des images en faisant des reconstructions itératives automatiques anciennement réalisées par le gestionnaire des PACS ou le radiologiste. Les résultats sont des images de qualité supérieure avec élimination des artéfacts. (Figure 8)



Figure 5 : Positionnement « intelligent » du patient en graphie.

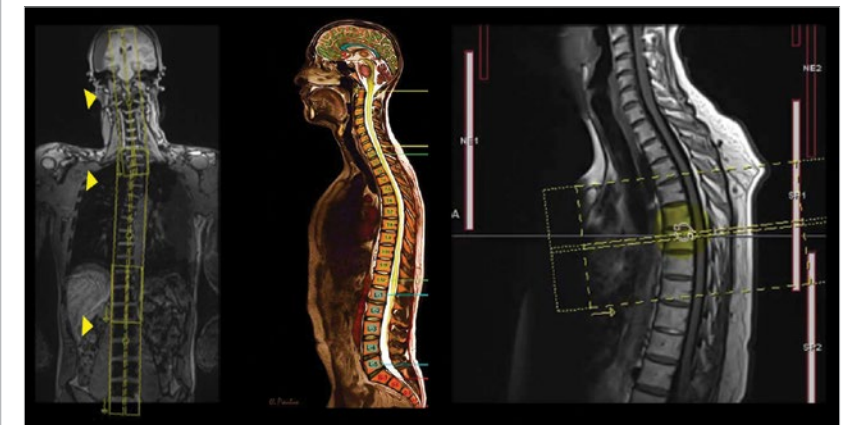


Figure 6 : Positionnement des « boîtes », « labelisent » et détection de pathologies en IRM de la colonne.

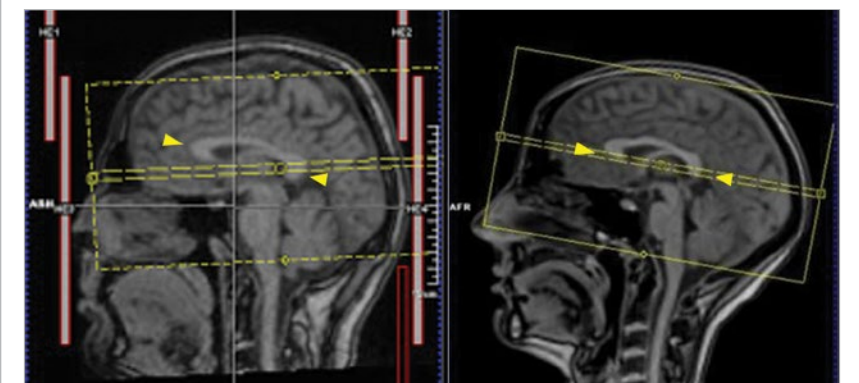


Figure 7 : Positionnement des « boîtes » en IRM du cerveau.

D'autres logiciels sont capables de combler l'oubli des technologues en détectant l'organe sur les radiographies et en l'annotant correctement. L'algorithme s'appuie sur son apprentissage antérieur des milliers d'images similaires.

Dans les centres hospitaliers, plusieurs technologues préfèrent ne pas se déplacer à la salle d'opération pour réaliser des radiographies, en raison du manque de collaboration de l'équipe des infirmières et des chirurgiens. Les « chicanes » sont toujours en rapport au respect de l'asepsie dans ce département. Les technologues n'ont pas non plus raté l'occasion dans ce domaine. Ainsi, la Réalité augmentée couplée à l'IA a proposé une visualisation directe des limites des champs stériles facilitant la tâche du technologue. La machine C-arm peut être déplacée aux alentours des champs avec une alarme qui se déclenche si on s'approche trop.

#### Identification des résultats instantanés des tests sanguins dans le SIR

La disponibilité des résultats de tests de laboratoire est utile dans les examens qui nécessitent une injection d'un produit de contraste. Nous passons souvent du temps à rechercher les résultats des tests sanguins avant les examens des patients. Pour gagner du temps, et au lieu d'appeler les services de laboratoire ou de se connecter manuellement à une application informatique, des systèmes d'IA peuvent identifier les tests sanguins dont nous avons besoin, envoyer une notification sur la liste des patients et placer les résultats directement dans le système d'information radiologique (SIR). Le technologue et le personnel administratif auront donc à leur disposition toutes les informations nécessaires.

#### Répartition des patients et des examens selon le degré d'urgence clinique

Devant les ajouts des patients hospitalisés ou du service des urgences dans le programme quotidien des examens radiologiques, la liste des examens peut être classée selon l'indication clinique. Les systèmes d'IA peuvent détecter les renseignements cliniques des patients et décider de la priorité selon l'état d'urgence. Par exemple, c'est au logiciel de prioriser un patient dont les renseignements cliniques sont en rapport avec une recherche d'hémorragie intracrânienne par rapport à un autre patient qui a des douleurs à l'hypochondre droit et une recherche de cholécystite.

#### Une prise de rendez-vous « intelligente » !

Dans le processus de réservation, l'IA peut contribuer de différentes façons.

- À partir des rapports de l'examen radiologique, un logiciel détecte les informations et donne automatiquement des rendez-vous aux patients nécessitant des examens de contrôle, et il les assigne dans des salles particulières.



Figure 8 : Amélioration de l'image au scanner par reconstructions itératives automatiques.

- À partir de l'historique des rapports et les informations démographiques des patients, un logiciel réserve certains examens de patients (enfants, patients atteints de démence ou d'autres catégories de patients spécialisés) les journées de travail des technologues spécialement formés à cette catégorie d'examen.

#### Rôle des technologues et IA

Les technologies d'intelligence faciliteront nos tâches, mais nous devons d'abord les maîtriser. La compréhension des bases de ces technologies est importante, mais ATTENTION ! La difficulté de compréhension de l'IA est surtout dans sa boîte noire. Cela signifie que l'IA ne peut pas expliquer, pendant son processus d'apprentissage, « pourquoi » elle obtient un tel résultat. Que ce soit l'apprentissage en profondeur ou l'apprentissage automatique, la logique derrière le résultat n'est pas bien définie. L'expertise des utilisateurs devient donc essentielle pour interpréter la décision et limiter l'implication négative. L'interprétabilité (la capacité de comprendre ce qui se passe), l'explicabilité (la capacité d'expliquer ce qui s'est passé) et la transparence (la capacité de voir ce qui s'est passé et de comprendre comment une décision a été prise) sont actuellement toutes absentes. (Figure 9)

Pour adopter l'IA en radiodiagnostic, nous avons besoin de bonnes connaissances professionnelles de base et de la théorie du développement de l'IA. Les technologues peuvent jouer deux rôles : utilisateurs et développeurs de l'IA. En tant qu'utilisateurs, avec l'arrivée des technologies d'IA, les technologues doivent maintenant savoir utiliser les interfaces informatiques et fournir des services efficaces et précis. Ils doivent comprendre le fonctionnement du système d'IA et la façon d'interpréter les résultats. En tant que développeurs d'IA, les technologues font partie d'équipes de recherche sur l'IA et fournissent des avis professionnels pour développer des algorithmes. La collecte des données ou DATA est très

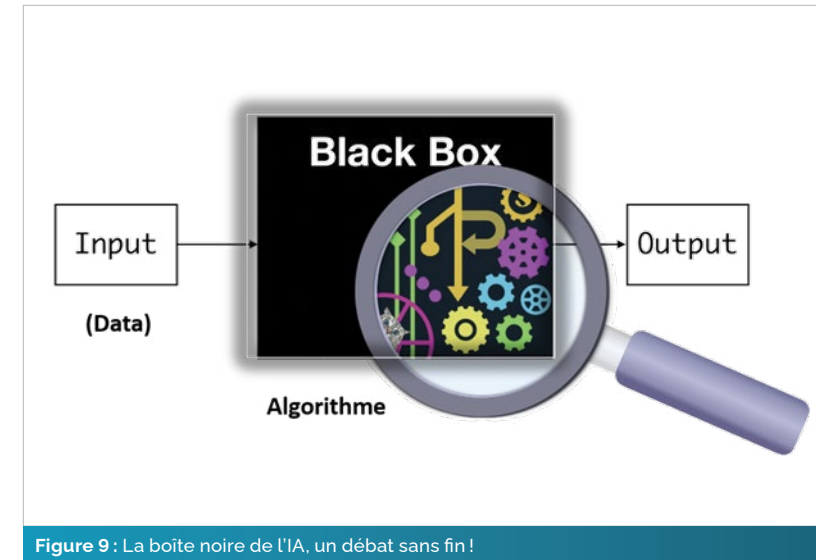


Figure 9 : La boîte noire de l'IA, un débat sans fin !

importante pour les systèmes d'IA, et les technologues peuvent bien assumer ce rôle. Ils doivent avoir les compétences nécessaires pour vérifier les données d'images d'origine par rapport aux données d'images améliorées par l'IA afin de s'assurer qu'aucune erreur n'est commise. Pour toutes ces raisons, dès maintenant, les étudiants en techniques de radiodiagnostic doivent avoir des connaissances en techniques de modélisation mathématique et en statistiques liées à l'IA en plus des cours de base.

#### Des conséquences malgré la technologie !

L'application de ces technologies constitue un véritable changement de pratique grâce à l'automatisation, mais il y a toujours un prix à payer ! L'adoption de l'IA sera responsable d'une dégradation significative des compétences de base en techniques de radiodiagnostic. Les technologues céderont de plus en plus de tâches à la machine; les responsabilités diminueront, ce qui limite la prise de décision autonome. Un professionnel de la santé qui ne décide pas devient, avec le temps, moins motivé à travailler. De plus, les technologies augmentent la charge de travail et engendrent plus de fatigue. Avec l'automatisation, la réalisation de l'examen radiologique sera plus rapide et le nombre de procédures augmentera

pour répondre à la demande de soins. Il s'agit d'un impact négatif sur le moral des technologues et sur la satisfaction de leur rôle, ce qui mènera à l'épuisement professionnel.

#### Messages à retenir

L'intelligence artificielle influencera progressivement la profession du technologue en imagerie médicale. C'est une obligation pour les technologues de rejoindre l'IA et de comprendre ces technologies, leur développement et leurs utilisations. Il s'agit de savoir contrôler ce changement.

Les décideurs et les responsables de l'imagerie médicale qui veulent adopter des solutions d'IA en radiologie doivent savoir que la plupart des technologues âgés de 18 à 24 ans pensent que leur rôle sera élargi et que l'IA entraînera de nouveaux rôles dans la profession<sup>2</sup>. On doit aussi se rappeler de la « crise du Boeing 737 ». En effet, des modifications ont été apportées aux systèmes de base des avions qui n'ont pas été communiquées de manière appropriée aux pilotes, ce qui a engendré des conséquences dévastatrices !<sup>3</sup> Les radiologues et les technologues sont les pilotes dans un département de radiologie. Malgré les conséquences, avec l'IA, le technologue sera plus compétent et c'est mieux pour nos patients. Utilisons, donc, l'IA pour améliorer notre profession.

#### RÉFÉRENCES

- 1 – Yadong Gang, National Center for Biotechnology Information. A comparison between manual and artificial intelligence-based automatic positioning in CT imaging for COVID-19 patients. 2021. [www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33740092/]. Consulté le 20 mai 2021.
- 2 – HCIAC Corporate Roundtable Subcommittee on Artificial Intelligence. The Artificial Intelligence Era: The Role of Radiologic Technologists and Radiation Therapists. [www.asrt.org/docs/default-source/research/whitepapers/the-artificial-intelligence-era-the-role-of-radiologic-technologists-and-radiation-therapists.pdf?sfvrsn=7a3b3fd0\_4]. Consulté le 21 mai 2021.
- 3 – Katherine Colvin. Artificial Intelligence and the Future of Radiography. RADIOLOGY. 2020. [www.emj.emg-health.com/wp-content/uploads/sites/2/2020/08/Artificial-Intelligence-and-the-Future-of-Radiography.pdf]. Consulté le 1 juin 2021.

#### FIGURES

- 1 – Hosny, A. Artificial intelligence in radiology 2018
- 2 – The AI-Rad Companion family is growing. [www.siemens-healthineers.com/digital-health-solutions/digital-solutions-overview/clinical-decision-support/ai-rad-companion]
- 3a et 6 – Rolf Svendsmark. How will development of artificial intelligence influence the radiographer's role? 2019.
- 3b – Yadong Gang, National Center for Biotechnology Information. A comparison between manual and artificial intelligence-based automatic positioning in CT imaging for COVID-19 patients. 2021. [www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33740092/].
- 4 – Naoki Kodama. Future roles of radiological and technologists and medical Artificial Intelligence. 2020. [www.yumpu.com/en/document/read/64687618/wrd-2020-special-edition-nl]
- 5 – Carestream. Leverage new AI-based software. [www.carestream.com/blog/2021/07/20/radiology-equipment-roi-5-strategies/]
- 7 – Khelifi, M. L'intelligence artificielle et son apport aux techniques de radiologie. Imagerie médicale – radiodiagnostic. Trousse de formation en ligne OTIMROEPMQ 2021.
- 8 – Pr. Ivan Bricault et col. Nouvelles techniques en tomodensitométrie. 2017 [www.cerf.radiologie.fr/files/files/enseignement/pdf/6.2%20IB%202017%20Nv%20Avanc%C3%A9es%20techno%20TDM.pdf]
- 9 – Tarun Acharya. Black boxes and their intrusion. 2019. [towardsdatascience.com/black-boxes-and-their-intrusion-620aa3c4c56b]



# Recherche en échographie quantitative pour améliorer la détection de cancer du foie

L'ÉCHOGRAPHIE, UN OUTIL POUR IDENTIFIER LES MICROSTRUCTURES TISSULAIRES.



Nathalie Poissant,  
I.M. (RD)  
CHUM

Le cancer primaire du foie le plus fréquent est le carcinome hépatocellulaire (CHC). Il représente la majorité des cancers dont l'origine est le foie. Les facteurs de risque de développer un cancer de ce type sont la cirrhose, les infections aux virus de l'hépatite B et C, la consommation d'alcool, la stéatose hépatique non alcoolique (NASH), des facteurs héréditaires, l'obésité, le diabète de type 2 ainsi que le tabagisme.<sup>1</sup>

Bien que les options de traitement de CHC se soient diversifiées au cours des dernières années, le pronostic de survie après 5 ans d'une personne atteinte d'un CHC dépend de notre capacité de détection précoce. C'est pourquoi les guides de pratique recommandent une échographie de dépistage tous les six mois pour les patients cirrhotiques et les non cirrhotiques atteints d'hépatite B<sup>2</sup>. L'échographie est recommandée sur la base du faible coût et de l'accessibilité pour de larges programmes de dépistage. Cependant, l'échographie peut manquer 15 % des CHC de tout stade et jusqu'à 50 % des CHC de stade précoce<sup>3</sup>. Améliorer la détection précoce et la caractérisation des CHC permettrait de sauver de vies.

C'est dans cette optique que les membres de l'équipe de recherche des docteurs Cloutier et Tang, dans le cadre des travaux du projet Onco-Tech, ont développé des méthodes quantitatives avancées en échographie qui permettent d'obtenir des informations uniques non disponibles avec les appareils cliniques actuels. Leur projet de recherche propose l'étude des propriétés mécaniques et structurales du foie à l'aide d'algorithmes novateurs permettant de produire des images inédites. Le but de cet article est d'expliquer des concepts de base de physique d'ondes ultrasonores et des concepts d'échographie quantitative (QUS) permettant de caractériser la microstructure tissulaire et potentiellement identifier de petits cancers qui

**L'échographie peut manquer 15 % des CHC de tout stade et jusqu'à 50 % des CHC de stade précoce. Améliorer la détection précoce et la caractérisation des CHC permettrait de sauver de vies.**

sont imperceptibles en échographie traditionnelle en mode B. Étant donné qu'il s'agit d'un article de vulgarisation destiné à l'ensemble des technologues et que certaines connaissances en lien avec l'échographie ne sont pas connues de nos pairs, nous débuterons par un bref rappel des techniques existantes en échographie et une description des concepts de physique des ultrasons avec des illustrations à l'appui.

Cet aperçu vous permettra, nous le souhaitons, de comprendre le rôle potentiel des technologues en imagerie médicale et les occasions de contribution dans le domaine de la recherche clinique afin de faire progresser les technologies existantes et d'aider à l'émergence de nouvelles applications dans le domaine de la santé.

## L'échographie

À l'instar des autres modalités d'imagerie médicale, l'échographie a connu depuis les 50 dernières années un développement technologique exceptionnel. Voici en premier lieu, un résumé des lois physiques des ultrasons et un abrégé permettant de faire la

distinction entre les différentes spécialités de l'échographie.

### Comment les images en mode B ou en Doppler sont-elles produites ?

Les ultrasons sont émis par la vibration d'éléments piézoélectriques qui couvre la surface du transducteur. Les ultrasons sont des ondes de compression qui se propagent dans les tissus et rencontrent différentes interfaces ainsi que des liquides en mouvement. Une partie des échos qui sont générés lorsque les ultrasons rencontrent une interface vont être réfléchis vers la sonde pour être ensuite captés et transformés en images dans le cas de l'échographie en mode B ou en son et en tracé pour ce qui a trait au Doppler, nous indiquant ainsi la vitesse du sang et sa direction.

La vitesse de déplacement de l'onde varie selon le milieu qu'elle traverse. Par exemple, dans l'eau, la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore est de 1480 m/s, dans le foie elle est de 1560 m/s et dans l'os cortical elle est de 3 000-4 000 m/s. Ce sont les différences de vitesses qui sont à l'origine des phénomènes qui vont produire les images échographiques.

### Réflexion/réfraction

La réflexion et la réfraction se produisent lorsque l'onde rencontre une interface. (Figure 1) Une partie de l'énergie de l'onde est réfléchie vers la sonde alors qu'une autre partie de l'énergie de l'onde poursuit son trajet dans les tissus; on dira qu'elle est réfractée (déviiée) dans le nouveau milieu. C'est la réflexion qui est à l'origine de l'image échographique.

### Diffusion

La diffusion est le résultat de la rencontre de l'onde incidente avec une structure de dimension inférieure à la longueur d'onde qui l'atteint. L'onde, au lieu d'être réfléchie, sera dispersée dans toutes les directions. (Figure 2)

### Atténuation

L'atténuation, c'est la perte d'énergie de l'onde au cours de sa propagation. Les trois premiers phénomènes expliqués précédemment participent à l'atténuation, car à chaque interaction, l'onde incidente perd de l'énergie. Une partie de cette perte d'énergie sera aussi due à l'absorption et se transformera en chaleur.

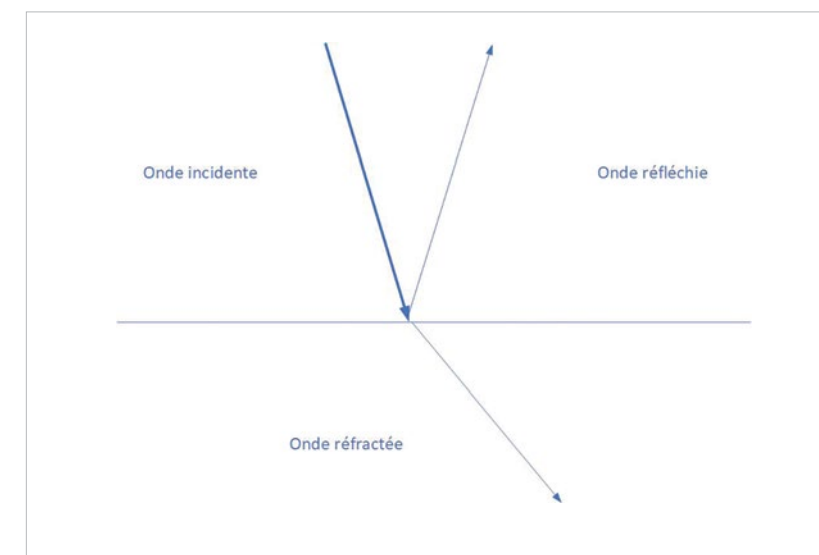


Figure 1 : Ondes incidente, réfléchie et réfractée.

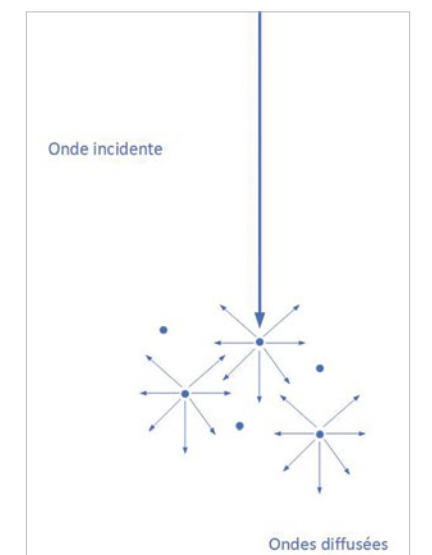


Figure 2 : Ondes diffusées.

### Techniques échographiques

L'organigramme à la **Figure 3** illustre la classification de techniques échographiques modernes.

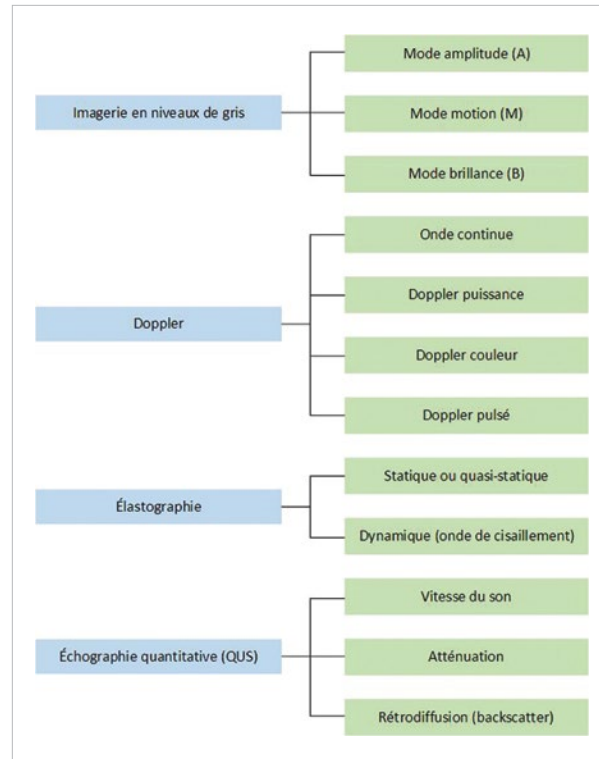
#### Échographie en mode B

L'échographie en *mode B* nous permet de voir en deux dimensions des coupes anatomiques. L'appellation mode B fait référence à la « brillance » qui exprime le degré de luminosité de l'image. Chaque pixel sur l'écran est composé d'un écho qui traduit le temps entre l'émission de l'onde et sa réception par la sonde. Cette brillance dépend de l'amplitude de l'écho qui a été réfléchi par les objets rencontrés. Plus l'impédance acoustique entre deux structures est grande, plus l'onde réfléchi aura de l'énergie et, par conséquent, plus le point sera brillant.

La **Figure 4** illustre les défis de l'échographie en mode B pour la détection de cancers du foie. Un foie cirrhotique d'aspect diffusément nodulaire et hétérogène rend difficile la détection d'un cancer du foie qui aurait également une apparence nodulaire.

#### Échographie Doppler

L'échographie Doppler nous permet de mesurer la vitesse ainsi que la direction du sang dans les vaisseaux. L'effet Doppler est un phénomène physique qui tient compte de la variation de la fréquence des ondes réfléchies selon la



**Figure 3 :** Classification des techniques échographiques\*.



**Figure 4 :** Foie cirrhotique.

**L'échographie quantitative est une méthode émergente qui permet de caractériser des structures tissulaires plus petites que la longueur d'onde ultrasonore.**

direction et la vitesse de déplacement d'un objet observé. Le tracé Doppler communique des informations sur le déplacement du sang dans les vaisseaux et la perfusion des organes vascularisés.

#### Élastographie

Le but de l'élastographie est de nous informer sur les propriétés mécaniques des tissus comme l'élasticité (une mesure de la dureté) et la viscosité (une mesure du comportement

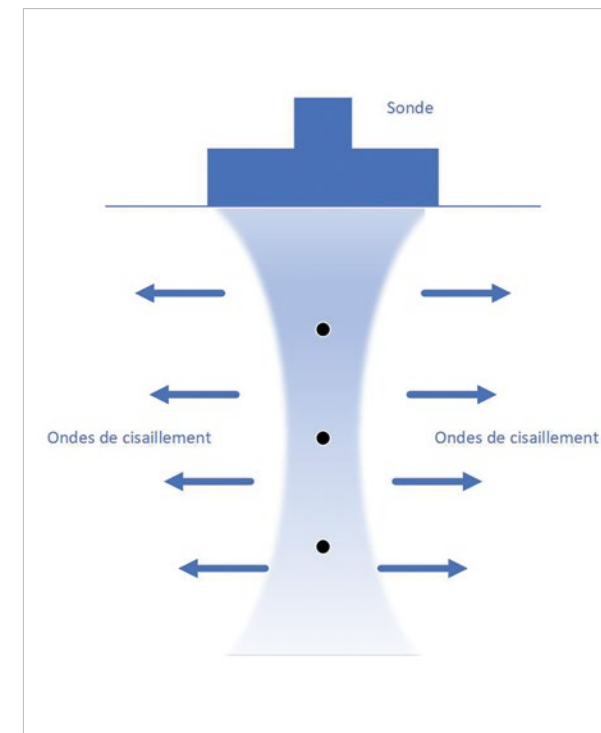
atténuant ou huileux). L'onde ultrasonore est une onde mécanique qui peut, à partir d'un certain seuil, générer du mouvement dans les tissus. Ce mouvement semblable à la palpation du médecin sur le foie du patient nous informe sur la souplesse du parenchyme hépatique. Différentes techniques ingénieuses ont été développées pour évaluer les propriétés mécaniques du foie. Certaines méthodes (dites statistiques ou semi-statiques) requièrent une compression du tissu et évaluent la déformation.

D'autres méthodes (dites dynamiques) permettent d'évaluer la vitesse de déplacement d'ondes de cisaillement produites par des ondes de compression focalisées à l'intérieur même des tissus. (**Figure 5**) Ces informations sont représentées sous forme d'images en couleur démontrant les propriétés mécaniques du tissu.

#### Échographie QUS

L'échographie QUS (de l'anglais «*Quantitative Ultrasound*») est une méthode émergente qui permet de caractériser des structures tissulaires plus petites que la longueur d'onde ultrasonore. Par cette méthode nous récupérons des données du bruit de fond généré par l'échographie en mode b. Ces structures exercent déjà une influence sur le rendu de l'image en mode B, mais comme la réflexion des ondes qu'elles génèrent est diffusée dans plusieurs directions, elles ne nous permettent pas d'augmenter la résolution de l'image échographique. Les ondes qui ont été générées par les structures dont la dimension est en deçà de la longueur d'onde émise par la sonde et qui ont été diffusées sont des données *quantitatives*. Ces données, lorsqu'elles sont accessibles, peuvent être interprétées et ainsi révéler des informations additionnelles sur les organes qui sont examinés.

Le sujet de recherche de l'équipe des docteurs Tang et Cloutier porte sur l'analyse d'informations quantitatives décrivant la microstructure tissulaire. Dans un premier temps, ce projet porte sur la caractérisation de lésions du foie déjà visibles en échographie en mode B. À l'avenir, ces techniques pourraient être employées chez des patients à risque de CHC afin de détecter des cancers qui ne sont pas visibles en échographie mode B.



**Figure 5 :** Des ondes longitudinales focalisées rapidement (aux points noirs) permettent de produire des ondes de cisaillement (flèches bleues) à l'intérieur d'un tissu.



Comme mentionné précédemment, on compte principalement sur la réflexion des ondes ultrasonores pour voir les structures. Dans un milieu idéal, il n'y aurait que des ondes parfaitement réfléchies (spéculaires), ce qui donnerait des images similaires à celle d'un miroir. Mais comme les tissus que nous analysons sont soumis aux lois de la physique des ultrasons et que d'autres phénomènes rentrent en ligne de compte, notamment la réfraction, l'atténuation et la diffusion, les images que nous obtenons, malgré toute notre bonne volonté, peuvent parfois être de qualité diagnostique insuffisante.

### Analyser les données provenant de la diffusion

La diffusion se produit lorsque l'onde ultrasonore rencontre une particule qui est plus petite que sa longueur d'onde. Contrairement à la réflexion, où une partie de l'onde est réfléchie dans la direction opposée lorsqu'elle rencontre une structure plus grande que la longueur d'onde, la diffusion a pour résultat qu'une partie de l'énergie acoustique incidente sera diffusée dans toutes les directions. Ces ondes diffusées vont à leur tour rencontrer d'autres microstructures et vont de nouveau être diffusées. Une grande partie des ondes ainsi dispersées ne retourneront pas vers la sonde et seront donc perdues. Néanmoins, une fraction de celles-ci seront tout de même captées par la sonde, et formeront ce qu'on appelle le rétrodiffusé (*backscattering* en anglais).

Les ultrasons rétrodiffusés sont donc une forme de signature du tissu insonifié qui vient s'insérer dans le flux des ondes réfléchies, puis captées par la sonde. Si ce bruit n'est pas filtré, il produira des artefacts plus ou moins visibles dans l'image. Ces artefacts se nomment des mouchetures (*speckles*) et peuvent ressembler à des taches ultrasonores plus ou moins petites qui contribuent à la texture de l'image.

### Pas si nuisible que ça...

En échographie QUS, on cherche justement à utiliser cette signature pour caractériser une région donnée. Ces phénomènes peuvent fournir de l'information qui permettrait d'identifier certaines propriétés physiques des tissus analysés. Ultimement, ces informations permettraient, par exemple, de reconnaître plus facilement une tumeur cancéreuse dans un foie, autrement imperceptible avec les méthodes conventionnelles.

Cette caractérisation quantitative veut dire qu'on va surtout se pencher sur certaines données extraites des ultrasons rétrodiffusés. Ces données, une fois normalisées et corrigées pour tenir compte de l'atténuation, forment ce qu'on appelle le coefficient de rétrodiffusion. Le coefficient de rétrodiffusion permet d'identifier certaines propriétés physiques du tissu à la manière d'une empreinte digitale. L'empreinte en soi ne veut rien dire puisque le nom du coupable n'est pas inscrit dans l'empreinte. En revanche, si nous possédons une banque d'empreintes, par

comparaison, on peut réussir à identifier le coupable. De la même manière, nous pouvons comparer le coefficient de rétrodiffusion à celui du foie.

Le coefficient de rétrodiffusion varie en fonction du tissu, mais aussi selon l'appareil et les ajustements utilisés lors de l'examen.

Dans le cadre de cette recherche, un fantôme est essentiel pour la calibration des appareils. Le fantôme est, d'une certaine façon, la mesure étalon à partir de laquelle les appareils vont déterminer la nature des structures visualisées quantitativement. Cette calibration est nécessaire avant chaque examen, puisque les conditions environnementales peuvent varier avec le temps. De la même manière, les examens doivent être produits à l'aide du même appareil, avec des réglages identiques et dans les mêmes conditions environnementales que ceux utilisés lors de l'étalonnage sur le fantôme afin de s'assurer de la validité des résultats de l'examen QUS.

Dans le futur, un appareil équipé d'un mode QUS permettrait d'afficher le coefficient de rétrodiffusion sous la forme d'une carte paramétrique représentée par une carte couleur se superposant à l'image mode B, affichant ainsi les propriétés microstructurales de la région analysée en même temps que l'image échographique conventionnelle.

### Mais ce n'est pas tout !

En plus du coefficient de rétrodiffusion, il y a deux autres propriétés

tissulaires qui permettent de caractériser les tissus à partir de l'analyse de l'interaction des ondes ultrasoniques sur les microstructures.

Il s'agit de l'imagerie de la vitesse du son et l'imagerie de l'atténuation.

Normalement, on considère que la vitesse du son est constante dans les tissus (1540 m/s). Toutefois, cela n'est pas tout à fait exact, puisque comme nous l'avons vu précédemment, la vitesse de propagation de l'onde variera selon le type de tissu qu'elle traverse. Les vitesses de propagation dans le sang sont de 1556 m/s et dans le foie, de 1560 m/s. Même si cette variation est minimale, nous devons en tenir compte dans la caractérisation de la structure. Lors d'une échographie mode B, l'appareil utilise une vitesse moyenne de 1540m/s et l'on va ignorer ou compenser les effets que ces variations de vitesse peuvent engendrer sur l'image produite. Par exemple, on saura reconnaître qu'une région est en réalité plus grande que ce qu'elle paraît à l'écran en sachant que la vitesse du son est plus élevée à cet endroit en raison d'une densité des tissus plus grande.

En imagerie QUS, on anticipe la possibilité de mesurer ces variations de vitesse pour nous aider à caractériser les différentes parties d'une image. En réussissant à identifier la vitesse du son localement (une vitesse propre à chaque pixel de l'image), on pourrait produire encore une fois une carte de couleurs permettant, par exemple, d'identifier plus facilement une lésion maligne dans un sein ou tout autre organe.

### Rôle du technologue

Afin d'obtenir les données nécessaires à cette recherche, les technologues en imagerie médicale jouent un rôle primordial. Leur compétence technique et leur collaboration avec des chercheurs permettent d'obtenir des données de qualité. Ces données seront ensuite analysées par des chercheurs en ingénierie acoustique et des mathématiciens. Les technologues savent s'adapter aux limitations des patients (telle la capacité à garder une apnée pendant quelques secondes par exemple) et produire des images de qualité pour visualiser des lésions même celles qui sont d'échogénicité semblable au tissu environnant. Les technologues ont une formation leur permettant de connaître l'anatomie du foie pour repérer les lésions identifiées préalablement, une expertise que les chercheurs en laboratoire ne détiennent pas. Les technologues doivent savoir choisir la meilleure fenêtre pour visualiser une lésion et éviter certaines structures comme les côtes, l'air ou les vaisseaux, car ces derniers peuvent affecter les données obtenues.

### Conclusion

L'échographie quantitative (QUS) est une technique émergente grâce à la disponibilité récente de modules de recherche sur des appareils cliniques. Avec de nouveaux outils à notre disposition tels que des ordinateurs avec des puissances de calcul élevées, le développement d'algorithmes performants et la collaboration des fabricants, il nous est permis de croire que les données quantitatives que nous recueillons dans le cadre des échographies de routine pourront

servir un jour à faire des diagnostics sur des tissus, à identifier des tumeurs. Ce faisant, les médecins pourront écarter le besoin de recourir à d'autres examens pour confirmer le résultat, permettant ainsi aux patients d'être traités plus rapidement, car ils auront eu leur diagnostic dans un plus court délai. Et si dans l'avenir cette technologie est adoptée par l'industrie, les technologues devront la connaître afin de l'utiliser adéquatement.

### REMERCIEMENTS – RÉVISION ET CORRECTION

Dr An Tang, chercheur au CRCHUM, radiologiste au CHUM, professeur titulaire au département de radiologie, radio-oncologie et médecine nucléaire, Université de Montréal.

Boris Chayer, M. Ing., assistant de recherche CRCHUM au laboratoire de biorhéologie et d'ultrasonographie médicale.

### RÉFÉRENCES

- 1 – Cancer du foie – Fondation canadienne du foie – Causes, Symptômes, Traitement et soutien <https://www.liver.ca/fr/patients-caregivers/liver-diseases/le-cancer-du-foie/>
  - 2 – M. Shermn, K. Burak, J. Maroun, P. Metrakos, J.J. Knox, R.P. Myers, M. Guindj, G. Porter, J.R. Kachura, P. Rasuli, S. Gill, P. Ghali, P. Chaudhury, J. Siddiqui, D. Valenti, A. Weiss and R. Wong *Multidisciplinary Canadian consensus recommendations for the management and treatment of hepatocellular carcinoma*. *Current Oncology* – Volume 18, Number 5 2011 Oct; 18(5): 228–240. <https://doi.org/10.3747/co.v18i5.952>
  - 3 – Kristina Tzartzeva, Joseph Obi, Nicole E. Rich, Neehar D. Parikh, Jorge A. Marrero, Adam Yopp, Akbar K. Waljee, Amit G. Singal. *Surveillance Imaging and Alpha Fetoprotein for Early Detection of Hepatocellular Carcinoma in Patients With Cirrhosis: A Meta-analysis*. *Gastroenterology* 2018 Vol. 154, No. 6
  - 4 – Guy Cloutier, François Destrempe, François Yu et An Tang *Quantitative ultrasound imaging of soft biological tissues: a primer for radiologists and medical physicists*. *Insights Imaging* 12, 127 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13244-021-01071-w>
- Chiang J, Chih-Wen L, Kao Y. *Effect of ultrasonography surveillance in patients with liver cancer: a population-based longitudinal study*. *BMJ Open* 2017;7:e015936. doi: 10.1136/bmjopen-2017-015936
- Société canadienne du cancer <https://cancer.ca/fr/cancer-information/cancer-types/liver/what-is-liver-cancer/cancerous-tumours>
- P. Legmann, P. Bonnin-Fayet, J.P. Convard, G. Seguin, 2008 « Échographie » (4<sup>e</sup> édition) France, Elsevier-masson 352 pages
- Gilles-Gaston Granger, Gilles Granger 2016, « Guide pratique de l'échographie obstétricale et gynécologique » France, Elsevier-Masson 342 pages
- Jane Lim, M.D., M.S., and Amit G. Singal, M.D., M.S. *Surveillance and Diagnosis of Hepatocellular Carcinoma*. Volume 13, Numéro 1, Janvier 2019 page 2-5 *Clinical liver disease AASLD Journals (American Association for the Study of Liver Diseases)*

### FIGURES

1,2,4,5 – Banque personnelle de l'auteur

3 – *Quantitative ultrasound imaging of soft biological tissues: a primer for radiologists and medical physicists*. *Insights Imaging* 12, 127 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13244-021-01071-w>

**Afin d'obtenir les données nécessaires à cette recherche, les technologues en imagerie médicale jouent un rôle primordial. Leur compétence technique et leur collaboration avec des chercheurs permettent d'obtenir des données de qualité.**



# Le Mobetron : la radiothérapie portative du sein en salle d'opération

L'APPLICATION DU RAYONNEMENT DIRECTEMENT SUR LA TUMEUR RÉSIDUELLE OU LE LIT TUMORAL PENDANT UNE CHIRURGIE CARACTÉRISE PRINCIPALEMENT LA RADIOTHÉRAPIE PEROPÉRAtoire PAR ÉLECTRONS.



Andrée Jutras, L.R.O.

Coordonnatrice  
technique, secteur  
curiethérapie

Radio-oncologie,  
CHUM

Connues comme une radiothérapie conventionnelle, les technologies d'accélérateurs linéaires de particules (LINAC) traitent n'importe quelle partie du corps. L'appareil qui émet des rayons X ou des électrons de haute énergie permet plusieurs séances de traitement. En moyenne, un traitement de sein s'échelonne sur quatre semaines postchirurgie et chimiothérapie, et la dose des traitements doit sans cesse être augmentée et fractionnée afin de réduire le taux de survie des cellules cancéreuses tout en laissant le temps aux cellules saines de se réparer.

## La radiothérapie peropératoire par électrons

L'application du rayonnement directement sur la tumeur résiduelle ou le lit tumoral pendant une chirurgie caractérise principalement la radiothérapie peropératoire par électrons. Cette technique existe depuis les années 1970. À l'époque, un patient subissant

Aujourd'hui, la portabilité de l'appareil d'IOeRT (*Intraoperative electron radiation therapy*) permet facilement l'accessibilité entre les salles d'opération existantes occasionnant moins de risque de contamination chez les patients.

une intervention chirurgicale devait être transporté vers un bunker de rayonnement blindé, puis devait retourner au bloc opératoire après le traitement pour le reste de la chirurgie. Aujourd'hui, la portabilité de l'appareil d'IOeRT (*Intraoperative electron radiation therapy*) permet facilement l'accessibilité entre les salles d'opération existantes occasionnant moins de risque de contamination chez les patients.

## Les particularités de l'IOeRT

Afin de bien orienter le traitement fait à partir de l'appareil IOeRT, une incision plus large que celle utilisée lors d'une chirurgie conventionnelle doit être appliquée, et ce, dans le but de positionner les accessoires de traitement. Un bouclier est d'abord installé afin de protéger les structures qui n'ont pas à être traitées pour les monothérapies. Ensuite, au besoin, un bolus peut être

L'appareil Mobetron est le premier linac mobile d'IOeRT au Canada pensé pour le bloc opératoire, ce qui permet d'administrer un traitement au moment de la chirurgie.



Figure 1 : Le Mobetron et la console.

ajouté au collimateur si l'épaisseur de tissus ne respecte pas le rendement en profondeur de l'énergie utilisée. Enfin, le collimateur sera inséré dans la cavité afin de bien couvrir le lit tumoral. Une fois les accessoires installés, le Mobetron est aligné sur l'applicateur par les technologues et délivre avec précision une dose de rayonnement à la zone cible déterminée par le chirurgien et le radio-oncologue.

**L'appareil Mobetron (Figure 1)** est le premier linac mobile d'IOeRT au Canada pensé pour le bloc opératoire, ce qui permet d'administrer un traitement au moment de la chirurgie. Il est muni de plusieurs accessoires et est composé de deux éléments principaux : le module de traitement et la console de traitement. L'opérateur délivre le faisceau d'électrons à partir de la console de traitement. En complément, le module de traitement offre un large éventail de mouvements pour accéder à la zone de traitement. Le Mobetron peut avoir différentes configurations : mobiles et à portée étendue. La plage de mouvements est augmentée grâce au système de portée étendue.

Les accessoires du Mobetron comprennent des applicateurs, un bolus, un bouclier, un dispositif de cible d'amarrage, une pince de table et un capuchon de collimateur.

Le champ de traitement est défini par **les applicateurs (Figure 2)** placés en contact direct sur le volume cible. L'inventaire comporte 60 applicateurs circulaires, biseautés ou rectangulaires. Les applicateurs biseautés sont disponibles pour des angles de 0, 15, 30 et 45 degrés. Cette grande variété d'applicateurs permet de s'adapter aux différentes morphologies des zones à traiter.

Lorsque le chirurgien aura mesuré l'épaisseur des tissus dans la région à traiter, il devra utiliser, au besoin, **le bolus (Figure 3)** adapté, soit celui de 5 millimètres ou de 10 millimètres d'épaisseur, afin d'obtenir une meilleure distribution de dose. Le bolus, quant à lui, a des dimensions lui permettant de s'adapter à chaque applicateur. Une fois le bolus installé dans l'applicateur, il doit être fixé à l'aide d'un pansement Tegaderm.

Afin de protéger les structures critiques, **le bouclier (Figure 4)**, un disque en acier inoxydable, est glissé, par le chirurgien, derrière les tissus à traiter. Cet accessoire est surtout utilisé lors du traitement de monothérapie, c'est-à-dire un traitement de 21 Gy.

**La cible d'amarrage (Figure 5)** se fixe sur le dessus de l'applicateur et se verrouille en place à l'aide de deux cames de verrouillage sur le côté postérieur de la cible. Nous retrouvons trois cercles blancs au-dessus de la cible. Cette conception permet au Mobetron de s'arrimer à l'Auto Dock (système qui contrôle les mouvements afin de permettre l'arrimage).

**Le capuchon du collimateur (Figure 6)** constitue une barrière stérile en cas de contact accidentel avec un ensemble de pince de table ou un dispositif de cible d'amarrage stérilisé. Le collimateur et le capuchon du collimateur ont des encoches correspondantes pour indiquer la bonne orientation. Ce dernier doit être bien ajusté et doit être bien en place pour que l'optique d'amarrage passe à travers les trous du capuchon. Un capuchon de collimateur usé, endommagé ou déformé doit être remplacé.



Figure 2 : Applicateur du Mobetron.



Figure 3 : Bolus de 5 mm et de 10 mm d'épaisseur.

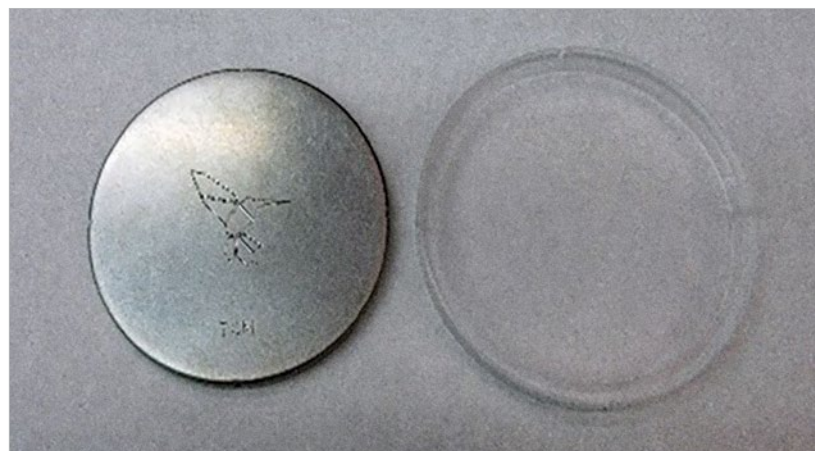


Figure 4 : Bouclier en acier inoxydable.

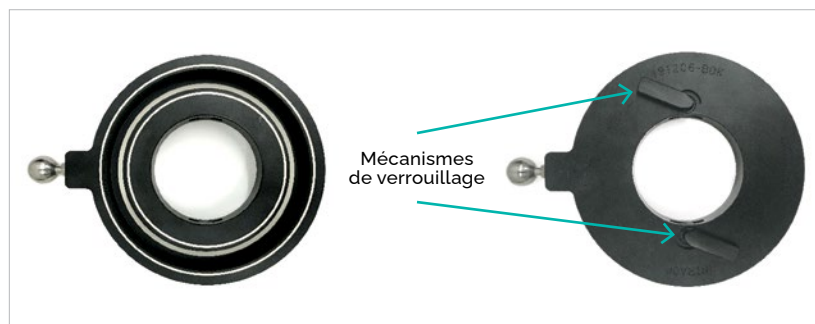


Figure 5 : Cible d'arrimage vu de face et du dessus.



Figure 6 : Capuchon du collimateur.



Figure 7 : Pince manuelle et pneumatique.

Deux ensembles de pinces de table sont disponibles : **une pince manuelle** ou **une pince pneumatique (Figure 7)**. L'ensemble de pince de table, solidement fixé à la table en bas et au dispositif d'amarrage de la cible en haut, et l'ensemble du dispositif de cible d'amarrage maintiennent l'applicateur en place.

Enfin, quatre panneaux de blindage sont installés à proximité du patient afin de protéger les équipes environnantes : des salles d'opération adjacentes jusqu'aux aires communes de l'étage. Bien que les panneaux de blindage mobiles soient utilisés, toutes les installations n'ont pas besoin d'utiliser un blindage supplémentaire. En fait, de nombreux endroits ne le font pas. Ceci repose sur de nombreux facteurs tels que le nombre de cas prévus, la taille de la salle d'opération, la construction de la salle d'opération, etc.

### La mobilité, les installations et le déroulement d'un traitement

Avant l'arrivée du patient, les technologues procèdent au nettoyage du Mobetron. De surcroît, la salle d'opération a été aménagée comme une salle de traitement de radiothérapie avec des dispositifs de verrouillage et des indicateurs lumineux de différentes couleurs afin de garder un visuel sur le déroulement du traitement. La sécurité est assurée grâce à des boutons de délai qui sont installés au fond ainsi qu'à l'entrée de la salle de traitement laissant un délai au technologue pour sortir de la salle. Si ce délai est respecté, l'indicateur lumineux passe à l'orange, et au rouge lorsque le traitement commence. Une affiche représentant la radiation est exposée sur la porte donnant sur le corridor stérile. Lorsque cette dernière est barrée, le traitement peut commencer. Le Mobetron est ensuite installé dans la salle de traitement et les technologues s'assurent de vérifier sa mobilité. Le chauffage des trois énergies : 6, 9 et 12 MeV, ainsi que la vérification du débit de dose à l'aide d'une chambre d'ionisation et de l'électromètre, sont effectués et les données de ces tests sont entrées dans le QAtack.

Une fois les tests préparatifs et les tests de sécurité terminés, les membres de l'équipe de chirurgie et de radio-oncologie peuvent commencer à préparer leur matériel. Le patient s'installe sur la table d'opération en s'assurant de positionner sa tête à l'extrémité afin de dégager le maximum d'espace pour le porte-à-faux. Les préposés s'occupent de fixer solidement le patient à la table avant de pratiquer des tests d'angulation. Lorsque la position optimale du patient est déterminée, le chirurgien procède à l'extraction de la masse pour ensuite installer l'applicateur. Une fois que le patient est prêt pour la radiation, le technologue déplace le Mobetron en direction de l'applicateur et l'amarrage s'opère. Avant de procéder au traitement, il est primordial d'attendre le résultat de la pathologie puisqu'il sera déterminant pour la dose à administrer. Lorsque tout est en place, les équipes de chirurgie et de radio-oncologie sont invitées à sortir afin que le physicien calcule la dose à délivrer et prépare le faisceau. Enfin, la dose est administrée par les technologues qui seront les derniers à sortir de la salle d'opération en sécurisant l'endroit.

L'illustration suivante démontre **un plan de traitement** ainsi que **le rendement en profondeur et les courbes isodoses (Figure 8)**. Le logiciel de traitement assure une

prescription de grande précision qui peut combiner deux types d'énergie, par exemple 6 MeV et 9 MeV, dans un même plan. L'appareil est doté d'un logiciel qui permet d'avoir une dosimétrie du plan de traitement. Les physiciens débutent la planification par l'entrée des données démographiques en plus des données cliniques relatives aux patients. Le logiciel procède à une première vérification afin de s'assurer d'une cohérence entre les entrées de données et les besoins du traitement. Puis, ces données sont contre-vérifiées par un technologue après quoi le système peut être actionné et

affiche le graphique avec les courbes isodoses ou le pourcentage de rendement en profondeur (PDD) ou les deux graphiques.

Lorsque le traitement est terminé, les technologistes entrent et dégagent le Mobetron afin que le chirurgien puisse retirer les instruments en place, procéder à la reconstruction mammaire et terminer l'opération. Le technologue s'occupe de récupérer tous les instruments utilisés, procède au décompte et les envoie à la stérilisation.

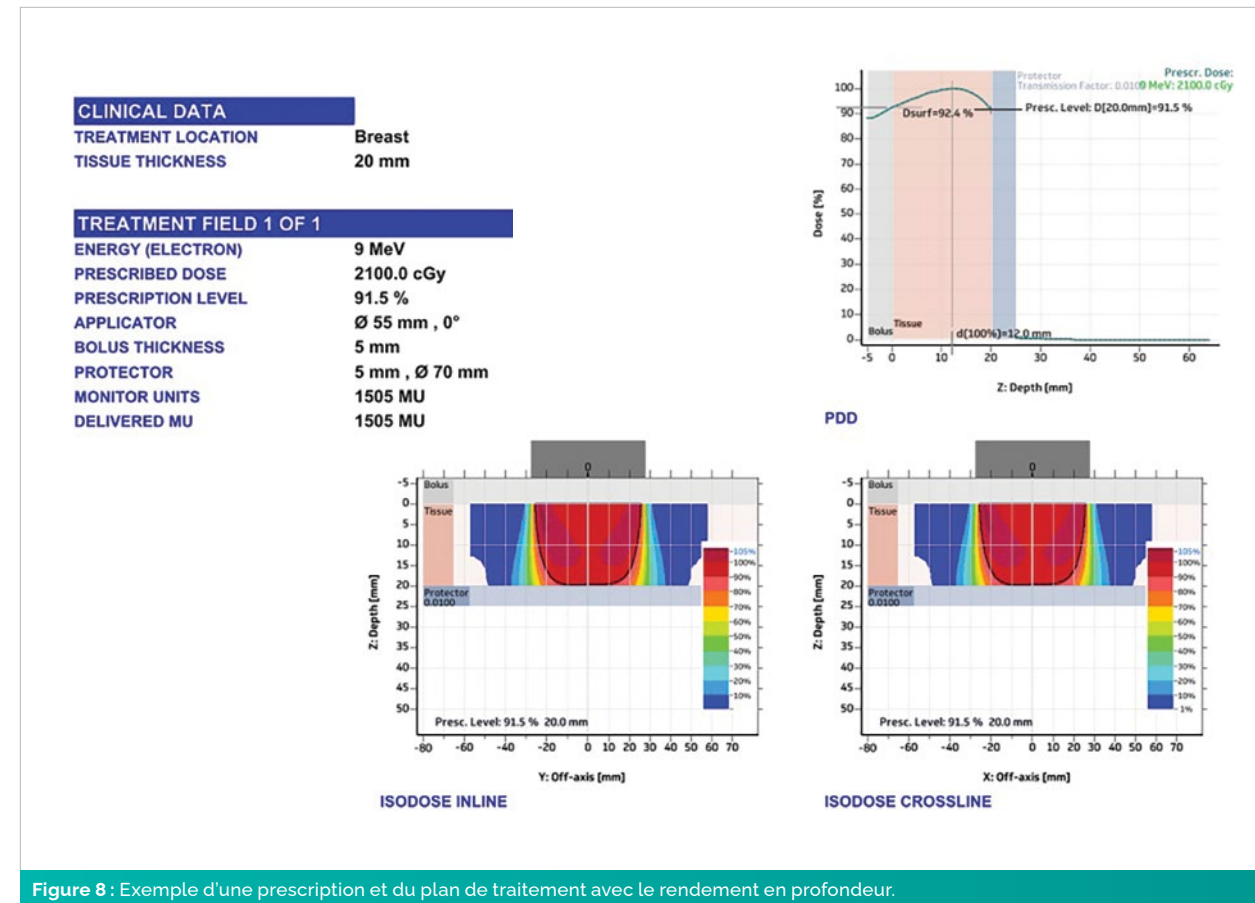


Figure 8 : Exemple d'une prescription et du plan de traitement avec le rendement en profondeur.

### Quel stade du cancer du sein est admissible à ce type de traitement ?

Les cancers du sein de stade 1 d'une masse inférieure à 3 centimètres sont admissibles à ce traitement.

### Quelles personnes peuvent bénéficier de l'utilisation du traitement par IOeRT ?

En moyenne, les personnes âgées de 50 ans et plus peuvent bénéficier de l'utilisation du traitement.

### Quels types de traitements peuvent être administrés à l'aide du Mobetron ?

Le protocole multicentre de l'Ohio State University (OSU), approuvé par le comité d'éthique, permet l'administration du traitement de monothérapie de 21 Gy ou un surdosage de 8 Gy (combiné à la radiothérapie externe).

### Où pouvons-nous bénéficier du traitement à l'aide de l'appareil Mobetron ?

Le Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM) (Figure 9) est le premier centre hospitalier au Canada à utiliser le Mobetron.

### Quels sont les avantages d'utiliser le IOeRT ?

D'abord, l'irradiation est délivrée directement au contact des tissus qui entourent la tumeur. Ensuite, moins de tissus sains sont irradiés par rapport à une radiothérapie externe. Aussi, l'IOeRT permet de délivrer une dose plus élevée en une seule fois. Enfin, il y a une économie de temps et un gain de confort considérable pour le patient.

### Quels sites de traitements sont aussi traitables grâce à cette technique ?

- Cancer du sein (APBI à une seule fraction)
- Cancer du sein (Boost)
- Cancer du pancréas
- Cancer colorectal
- Cancer gynécologique
- Cancers de la tête et du cou
- Sarcomes

### En quoi consiste le mode de traitement « Flash » ?

Le mode de traitement « Flash », à venir, est caractérisé par une très grande dose administrée en très peu de temps. Un nombre de pulses est délivré et non un nombre d'UM (1 pulse = 4 µs = 2,5 Gy). Il s'agit uniquement d'un système de recherche, le traitement n'est pas encore mis en service. Cela nécessite une console supplémentaire que celle présentée ci-haut. Enfin, différentes études de divers systèmes de détection de la dose pour ce mode sont en cours (fibres, calorimètre, films, chambre.)

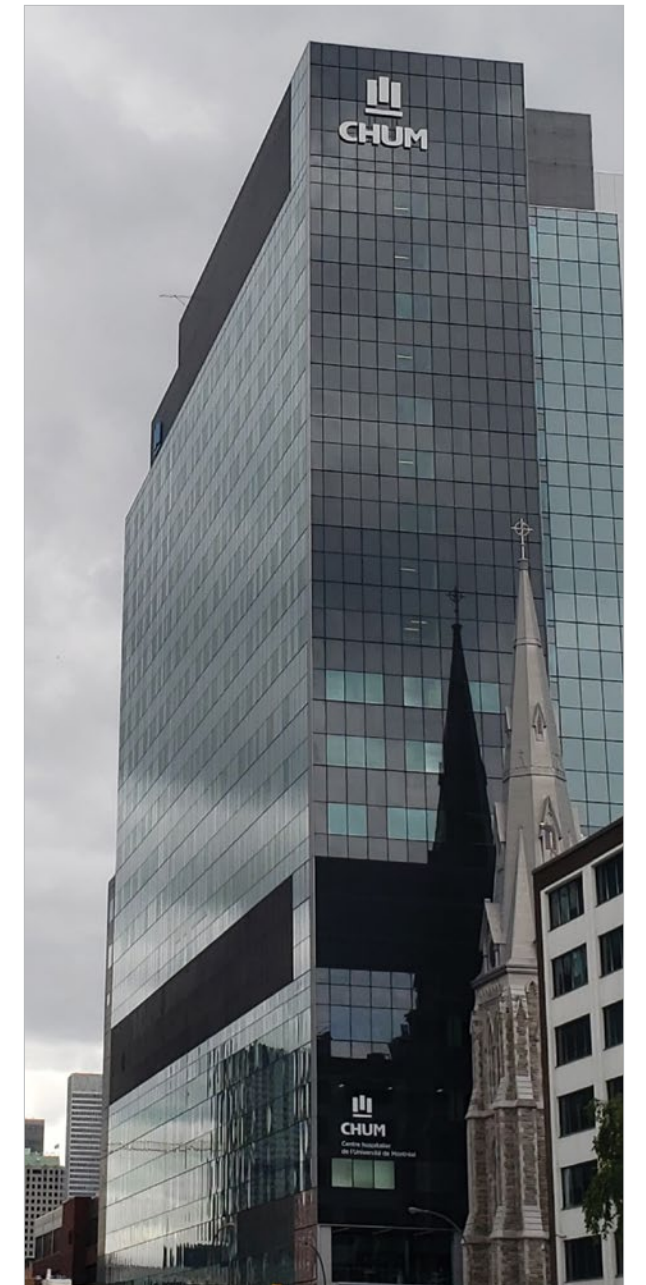


Figure 9 : Photo du CHUM.

### REMERCIEMENTS

Je remercie madame Sandrine David et monsieur Karim Boukhal Zerouali, physiciens au CHUM, pour la révision de l'article ainsi que madame Kristi Glover, Clinical Application Specialist chez IntraOp Medical Corporation.

### RÉFÉRENCES

Toutes les informations et les figures utilisées dans ce texte proviennent du supplément d'instructions pour le personnel de salle d'opération et de la présentation « Radiothérapie peropératoire par électrons » de la compagnie IntraOp Mobetron.

**FIER ASSUREUR  
DES MEMBRES DE L'ORDRE  
DEPUIS PRÈS DE 35 ANS**

1 800 644-0607 [lacapitale.com/otimroepmq](http://lacapitale.com/otimroepmq)

**La Capitale**  
Assurance et services financiers



# Collaboration à un projet de recherche préclinique : une expérience unique !

UNE ÉTUDE PRÉCLINIQUE SUR LA RÉPARATION CUTANÉE À LA SUITE D'UNE IRRADIATION A ÉTÉ RÉALISÉE AU CÉGEP DE SAINTE-FOY.



Josée Langevin,  
t.r.o.

Professeure,  
Cégep de Sainte-Foy

## Contexte du projet

En 2013, les activités d'enseignement du programme *Technologie de radio-oncologie* du Cégep de Sainte-Foy débutaient avec un accélérateur linéaire complètement fonctionnel de modèle TrueBeam de la compagnie Varian Medical Systems. En plus de servir aux activités d'enseignement, l'objectif était de contribuer à la mission de recherche et développement du Cégep et de l'Université Laval.

C'est dans ce contexte que ma collègue Josée Galarneau, t.r.o., et moi avons eu l'opportunité de nous joindre, en 2017, à l'équipe de recherche de Julie Fradette, Ph. D., chercheuse à l'Université Laval. (Tableau 1)

**Comme technologue, ce fut une expérience concrète démontrant la rigueur de la méthodologie de recherche dans les études précliniques. Considérant cette même rigueur lors des études cliniques auxquelles les patients atteints de cancer participent, cela valorise d'autant plus le devoir du technologue d'administrer des soins de qualité.**

## Tableau 1 – Équipe de recherche

### Chercheuse principale

Julie Fradette, Ph. D., professeure titulaire au Département de chirurgie, Université Laval, Centre de recherche en organogénèse expérimentale de l'Université Laval (LOEX), Axe Médecine régénératrice, Centre de recherche du CHU de Québec-Université Laval

### Cochercheur

Louis Archambault, Ph. D., professeur au département de physique, Université Laval, Centre de recherche du CHU de Québec-Université Laval, Centre de recherche sur le cancer de l'Université Laval

### Étudiante attachée au projet

Candice Diaz, étudiante diplômée à la maîtrise en biologie cellulaire et moléculaire, Centre de recherche en organogénèse expérimentale de l'Université Laval (LOEX), Département de chirurgie de la Faculté de médecine, Université Laval

### Responsable des irradiations

Josée Langevin, t.r.o., professeure au Cégep de Sainte-Foy, technologue au CIUSSS du Saguenay – Lac-Saint-Jean

### Responsable des irradiations

Josée Galarneau, t.r.o., professeure au Cégep de Sainte-Foy, technologue au CIUSSS de la Mauricie-et-du-Centre-du-Québec

### Responsables de l'anesthésie et de l'animalerie

vétérinaires et techniciennes en santé animale, Centre de recherche du CHU de Québec-Université Laval

Le projet consistait à réaliser une étude préclinique sur les effets radiobiologiques cutanés. L'implication dans ce projet nous a permis de collaborer aux démarches d'approbation de ce type d'étude, d'élaborer des procédures expérimentales du protocole de recherche ainsi que de participer à sa mise en œuvre. Cet article présentera les grandes lignes du projet de recherche en mettant l'accent sur des éléments distinctifs de cette étude préclinique utilisant des modèles murins. Ces éléments ont été choisis notamment pour montrer l'apport découlant de l'expertise en radiothérapie relative à :

- la capacité d'administrer avec exactitude et précision une dose de radiation sur des modèles de morphologie différente et
- de valider l'exactitude et la précision de cette dose au moyen de contrôles de qualité.

Quelques retombées seront également décrites permettant de dégager des exemples concrets résultant de ce projet de recherche.

### Objectif du projet de recherche

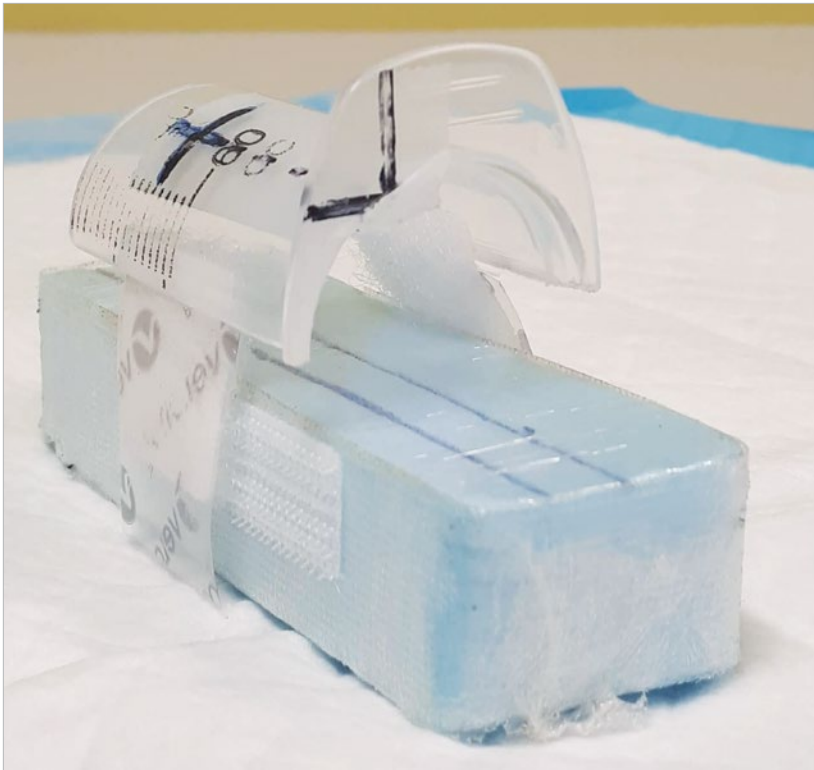
L'objectif était d'étudier les effets sur la cicatrisation cutanée à la suite d'une irradiation pour en venir à proposer des traitements afin d'optimiser la guérison des peaux irradiées. La première phase permettant d'étudier les effets a été réalisée<sup>1</sup> et une deuxième phase devrait se poursuivre concernant l'optimisation de la guérison. L'utilisation de pansements biologiques produits par génie tissulaire pourrait par exemple être étudiée<sup>2</sup>.

Les manipulations ont été effectuées sur des modèles murins divisés en quatre cohortes. La première cohorte correspondait au groupe témoin sans irradiation et les trois autres regroupaient respectivement des

modèles recevant un niveau de dose unique de 45 Gy, 60 Gy ou 80 Gy. Après les séances d'irradiation, la peau a été observée pendant plusieurs semaines afin de décrire les effets cellulaires cutanés de la radiation et d'analyser le processus de régénération et de réparation<sup>3</sup>.

### Développement préclinique : exigences et rigueur

Il est plus habituel pour un technologue en radio-oncologie d'être impliqué dans la recherche lorsque des patients atteints du cancer participent à des études cliniques de phases I à III<sup>3</sup>. Dans ce type d'études, il n'y a normalement pas de groupe témoin de personnes en santé à cause de la toxicité des thérapeutiques contre le cancer, comme l'administration de la radiation et de médicaments chimiothérapeutiques. Il y a aussi des études prospectives qui dégagent des éléments de prévision



**Figure 1 :** Système de positionnement ajustable sans bolus. On remarque les repères suivants: le prolongement sagittal médian, les prolongements sagittal, coronal et transverse de l'isocentre et la position de l'isocentre sur le gabarit.



**Figure 2 :** Système de positionnement ajustable avec le bolus en place avec des prolongements toujours visibles.

et des études rétrospectives. Ces dernières se basent sur les données présentes dans les dossiers médicaux. Il n'y a pas d'interaction directe avec les patients dont les dossiers sont ciblés par l'étude.

Le développement préclinique fait plutôt appel à l'expérimentation animale. Cette expérimentation doit être utilisée de manière rationnelle et doit respecter des règles strictes qui garantissent un traitement éthique des modèles utilisés. Dans ce contexte, le protocole élaboré a fait l'objet d'une évaluation rigoureuse. Comme il s'agissait d'un projet de partenariat entre le Cégep de Sainte-Foy et l'Université Laval, tout le protocole de recherche a dû être examiné et approuvé par le Comité de protection des animaux (CPA) de chacune des institutions<sup>4,5</sup>. L'approbation témoignait de la conformité du protocole avec les politiques et les lignes directrices du Conseil canadien de protection des animaux (CCPA) en enseignement, en recherche et dans les tests<sup>6</sup>. Le CCPA établit des normes reconnues au Canada et à l'étranger et veille à leur mise en œuvre efficace au sein des établissements<sup>7</sup>.

À titre d'exemple, même si le local de l'accélérateur n'abritait pas une animalerie, les politiques liées à l'utilisation des animaux et les procédures normalisées de fonctionnement pour l'entretien de ce type de local au Cégep devaient s'appliquer<sup>8,9,10</sup>. Ces procédures concernent l'environnement où le projet se réalise (température et ventilation) et aussi l'hygiène et l'asepsie. Les règles sont aussi sévères sinon plus que celles recommandées à l'hôpital. Par exemple, afin d'éviter la contamination croisée et les allergies, l'accès aux locaux était sécurisé et strictement réservé aux personnes de l'équipe de recherche responsables des manipulations. Le port de l'équipement de protection, du bonnet au couvre-chaussures en passant par le masque à haut pouvoir filtrant (de type N95) était obligatoire. Les gants et la jaquette jetables devaient également être portés. Des procédures de nettoyage et de désinfection au début des manipulations, entre celles-ci et à la fin des manipulations devaient être appliquées. Tout

devait être documenté quant aux soins prodigués aux modèles. Comme technologue, ce fut une expérience concrète démontrant la rigueur de la méthodologie de recherche dans les études précliniques. Considérant cette même rigueur lors des études cliniques auxquelles les patients atteints de cancer participent, cela valorise d'autant plus le devoir du technologue d'administrer des soins de qualité.

#### Adéquation du centrage des faisceaux

Une revue de la littérature a été préalablement effectuée afin de s'y appuyer pour définir les procédures expérimentales d'administration et de contrôle de qualité de l'irradiation dans le protocole de recherche. Quelques études précisaient des modalités générales, mais c'était insuffisant comme données ou impossible à reproduire<sup>11</sup>.

Une condition consensuelle à remplir fut de déterminer le moyen d'assurer une adéquation du centrage des faisceaux entre les modèles de morphologie différente. Concevoir une installation reproductible des modèles selon leur morphologie afin d'ajuster précisément la géométrie de l'irradiation était une condition *sine qua non* pour la validité des résultats corrélés avec le niveau de dose administrée. Après quelques tentatives, un système ajustable permettant d'assurer le positionnement précis de l'isocentre sur la paroi thoracique gauche du modèle a été conçu. Le système est composé de trois sections: (Figures 1 et 2)

- une base en styromousse recouverte d'une pellicule plastique pour la désinfection et munie d'attaches latérales en velcro (côté crochet);
- un gabarit de centrage en forme de coupole taillé à partir du cylindre d'une seringue de 60 millilitres muni d'attaches latérales en velcro (côté velours);
- un bolus de gel synthétique d'un centimètre d'épaisseur, maintenu en place par un attache-câble une fois ajusté sur le gabarit.

Des repères ont été identifiés sur la base et le gabarit afin de contrôler le centrage de l'isocentre avec le prolongement des lasers avant et après l'installation du bolus. Les attaches en velcro permettaient d'ajuster la position verticale du gabarit selon la morphologie du modèle anesthésié déposé en procubitus sur la base. Les attaches permettaient de fixer facilement et rapidement le gabarit selon le centrage latéral et longitudinal de l'isocentre au bon endroit sur

le modèle. Une fois l'irradiation terminée, la désinstallation était tout aussi facile et rapide. Cela répondait à une condition relative au délai optimal d'anesthésie selon le protocole de recherche approuvé.

Un autre intérêt du gabarit est que le détecteur utilisé pour le monitoring de la dose en temps réel pouvait être fixé à l'intérieur avant le positionnement du modèle. Utiliser un gabarit rigide avait aussi comme avantage d'éviter l'air entre celui-ci et le bolus. De plus, ajuster le bolus sur le gabarit permettait de ne pas interférer avec le positionnement du modèle. Du côté interne, l'absence d'air entre le gabarit et la peau du modèle et dans les régions latérales du détecteur était contrôlée par l'ajout de gel échographique à base d'eau.

**Concevoir une installation reproductible des modèles selon leur morphologie afin d'ajuster précisément la géométrie de l'irradiation était une condition *sine qua non* pour la validité des résultats corrélés avec le niveau de dose administrée.**

#### Validation de la dose

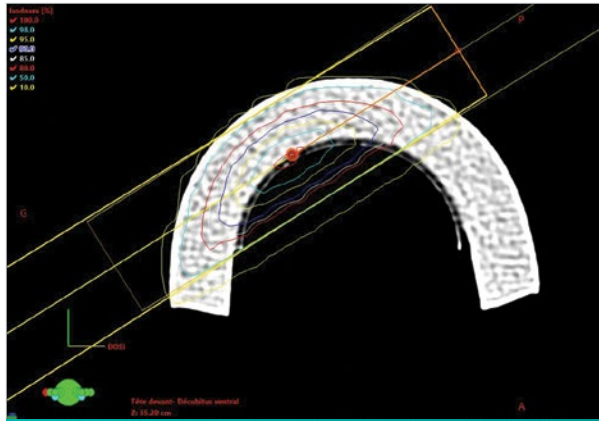
Plusieurs procédures ont été mises en place afin de rendre compte de la précision et de l'exactitude de chaque dose administrée:

- élaboration d'un plan de traitement validé par film radiochromique de type Gafchromic<sup>12</sup>;
- contrôle du centrage des faisceaux par imagerie conique (CBCT: cone beam computed tomography);
- monitoring de la dose en temps réel (dosimétrie in vivo);
- évaluation de la dose a posteriori sur l'imagerie conique.

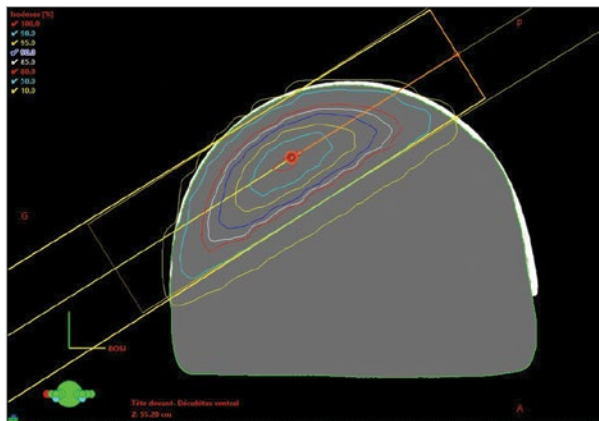
Ces procédures ont pu être développées avec tous les équipements en place au Cégep.

Premièrement, le système de positionnement a été imagé avec un tomodescripteur (TDM) Somatom Emotion Duo de la compagnie Siemens. La série d'images a été utilisée pour élaborer le plan de traitement avec le système

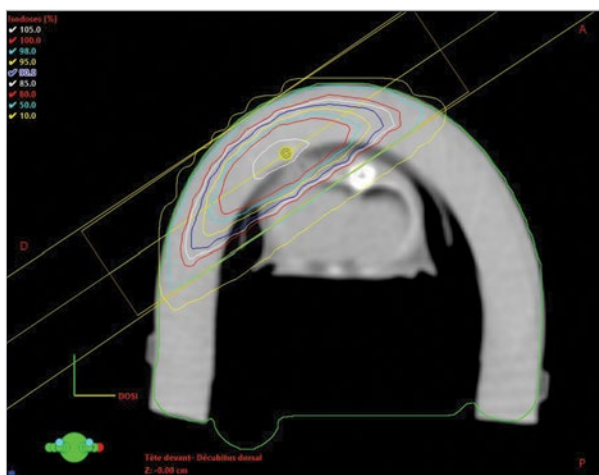
de planification de traitement Eclipse, version 15.6, de la compagnie Varian Medical Systems. Le bolus a été utilisé afin de créer un milieu diffusant qui assure l'équilibre électronique et l'administration de la dose à la surface cutanée. Un fantôme avec une délimitation externe incluant le bolus a été créé avec les propriétés d'un tissu de densité hydrique (1 g/cm<sup>3</sup>, UH = 0). Le plan retenu comprenait deux champs obliques (OPD et OAG) avec respectivement le bras d'appareil à 58° et à 238° pour une dimension de 1,5 cm x 1,5 cm avec des photons de 6 MV. Avec la valeur de l'isodose 100 % normalisée à un point de référence considéré l'isocentre, le pourcentage de traitement choisi fut celui de l'isodose 98 %. Cette isodose permettait qu'une surface cutanée équivalente à un centimètre carré (1 cm<sup>2</sup>) reçoive au moins le niveau de



**Figure 3 :** Distribution de la dose du plan de traitement sur imagerie de tomodynamométrie sans l'affichage du fantôme. Avec la valeur 98 % comme pourcentage de traitement, la dose planifiée couvre une surface d'un centimètre de paroi.



**Figure 4 :** Distribution de la dose du plan de traitement sur imagerie de tomodynamométrie avec l'affichage du fantôme délimité ayant les propriétés d'un tissu de densité hydrique.



**Figure 5 :** Distribution de la dose du plan de traitement recalculée sur une des séries d'images coniques d'un des modèles. On perçoit un minuscule cercle ombragé plus foncé sous le gabarit qui correspond au détecteur plastique à scintillation.

**En élaborant des procédures expérimentales précises de validation de la dose, le projet a fourni de nouvelles données concernant les modalités d'irradiation de modèles murins. Ces données contribuent maintenant à la littérature scientifique internationale.**

dose spécifié. (Figures 3 et 4) Le contrôle de qualité du plan a été fait avec un film radiochromique fixé à l'intérieur du gabarit. Le système de positionnement avec du milieu équivalent eau à l'intérieur a été irradié permettant ainsi de valider la dimension de la surface irradiée et la dose reçue.

Avant l'irradiation, le centrage de l'isocentre était vérifié par une imagerie conique effectuée pour chaque modèle. Durant l'irradiation, les signes perianesthésiques du modèle étaient surveillés en continu avec le système audio et vidéo de l'accélérateur. La dose a été monitorée en temps réel grâce à un détecteur plastique à scintillation fixé à l'intérieur du gabarit permettant d'évaluer les écarts et les incertitudes<sup>13</sup>. Ce détecteur, qui était en phase de développement dans un autre projet de recherche de l'Université Laval, est maintenant commercialisé par la compagnie Medscint<sup>14</sup>. Les qualités de ce détecteur comme sa précision submillimétrique sont indispensables à la dosimétrie de petits faisceaux. En clinique, ce type de détecteur est d'ailleurs utilisé pour des procédures dans le contexte de la radiochirurgie et de la curiethérapie.

Après les séances d'irradiation des cohortes, les séries d'images coniques identifiées au numéro de chaque modèle, ont été transférées dans le système de planification de traitement. Le plan de traitement a été recalculé pour chaque cas complétant ainsi la série de procédures de contrôle de qualité pour une évaluation complète de la dose administrée et du processus d'irradiation. (Figure 5) L'adéquation entre les données précises de la dose administrée et les résultats de l'étude cellulaire et moléculaire radiobiologique cutanée constitue une des qualités attribuées au projet dans ce type d'étude préclinique. En élaborant des procédures

expérimentales précises de validation de la dose, le projet a fourni de nouvelles données concernant les modalités d'irradiation de modèles murins. Ces données contribuent maintenant à la littérature scientifique internationale. Ces résultats ont fait l'objet de plusieurs présentations et d'écrits scientifiques<sup>13</sup>, dont un article publié dans la revue *Surgeries*, revue internationale à accès libre publiée en ligne.<sup>1</sup>

**Conclusion**

Dans le contexte de la radiothérapie, il est plus habituel chez un technologue d'être amené à coordonner ou à administrer les soins en fonction des particularités d'un protocole d'études cliniques sur des patients atteints de cancer. En tant que technologue en radio-oncologie, cela a été une opportunité différente de contribuer à la recherche et au développement.

Le projet qui a été réalisé a permis de contribuer à l'élaboration et à la mise en œuvre d'un projet préclinique, situation plus rare en oncologie. Ce projet a permis de fournir de nouvelles données dans la littérature scientifique concernant les modalités précises de la méthodologie de recherche utilisant des modèles murins et du contrôle de l'exactitude du dosage avec des équipements de précision. Les résultats observés sur les effets radiobiologiques cutanés et les mécanismes de guérison cellulaires lors de la cicatrisation constituent des données précieuses sur les modèles murins dont la chercheuse Julie Fradette dispose pour de futures collaborations. Dans une perspective où l'hypofractionnement des traitements constitue une approche de plus en plus répandue en radiothérapie, l'apport de ce projet de recherche apparaît des plus significatifs.

**QUESTIONS**

**Question 1**  
Quels sont les niveaux de dose pour les quatre cohortes de l'étude ?

**Question 2**  
Quel type de détecteur a été utilisé pour valider en temps réel la dose administrée ?

**Question 3**  
Sur quelle imagerie l'évaluation post-irradiation a été effectuée ?

**Question 4 – Vrai ou faux ?**  
Un faisceau d'électrons de 6 MV a été utilisé pour l'irradiation.

**Question 5 – Vrai ou faux ?**  
Le gel échographique utilisé doit avoir les mêmes propriétés qu'un tissu de densité hydrique.

*Nous vous invitons à visiter le portail de l'Ordre pour entrer vos réponses et ainsi obtenir 0,5 h de DP supplémentaire.*

**REMERCIEMENTS**

Sincères remerciements à Julie Fradette, Ph. D., chercheuse principale, pour la relecture de cet article et pour sa confiance durant toutes les étapes du projet.

**RÉFÉRENCES**

- 1 – C. Diaz, C. J. Hayward, M. Safoine, C. Paquette, J. Langevin, J. Galarneau, V. Thériège, J. Ruel, L. Archambault, J. Fradette, 2021. « Ionizing Radiation Mediates Dose Dependent Effects Affecting the Healing Kinetics of Wounds Created on Acute and Late Irradiated Skin ». *Surgeries*, 2(1), p. 35-57. <https://www.mdpi.com/2673-4095/2/1/4> [consulté le 20 octobre 2021].
- 2 – P. M. Martin, A. Maux, V. Laterreur, D. Mayrand, V. L. Gagné, V. J. Moulin, J. Fradette, 2015. « Enhancing repair of full-thickness excisional wounds in a murine model: Impact of tissue-engineered biological dressings featuring human differentiated adipocytes ». *Acta Biomater.* 22, p.39-49. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25934321/> [consulté le 24 octobre 2021].
- 3 – Groupe d'étude en oncologie du Québec (GEOQ), 2021. « Liste complète des essais cliniques ». <https://www.geoq.info/fr/pub/essais-cliniques-institution-0-site-0-page-1> [consulté le 24 octobre 2021].
- 4 – Cégep de Sainte-Foy, 2016. « Mandat du comité de protection du Cégep de Sainte-Foy (CPASCF) ». Québec, 7 pages.
- 5 – Université Laval, 2021. « Comité de protection des animaux - Mandat ». [https://oraweb.ulaval.ca/pls/cno/affiche\\_cno\\_proc\\_affiche?no=257](https://oraweb.ulaval.ca/pls/cno/affiche_cno_proc_affiche?no=257) [consulté le 24 octobre 2021].
- 6 – Conseil canadien de protection des animaux, 1998. « Lignes directrices : choisir un point limite approprié pour les expériences faisant appel à l'institution des animaux en recherche, en enseignement et dans les tests du CCPA », 36 pages. [https://ccac.ca/Documents/Normes/Lignes\\_directrices/Points\\_limite.pdf](https://ccac.ca/Documents/Normes/Lignes_directrices/Points_limite.pdf) [consulté le 17 octobre 2021].
- 7 – Conseil canadien de protection des animaux, 2021. « À propos du CCPA ». <https://ccac.ca/fr/a-propos-du-ccpa/> [consulté le 17 octobre 2021].
- 8 – Cégep de Sainte-Foy, 2010. « Politique relative à l'utilisation d'animaux à des fins d'enseignement et de recherche en milieu naturel ». Québec, 8 pages.
- 9 – Cégep de Sainte-Foy, 2017. « Procédures normalisées de fonctionnement - Entretien des locaux des animaleries (PNF-CSF-040,3) ». Québec, 8 pages.
- 10 – Cégep de Sainte-Foy, 2017. « Procédures normalisées de fonctionnement - Exigences vestimentaires (PNF-CSF-045,1) ». Québec, 2 pages.
- 11 – B. T.-Ulug, I. Kuran, B. C. Ozden, O. Mete, G. Kemikler, S. Aktas, B. Calik, 2011. « Does Hyperbaric Oxygen Administration Before or After Irradiation Decrease Side Effects of Irradiation on Implant Sites? ». *Annals of Plastic Surgery*, Volume 67, Number 1, pp. 62-67.
- 12 – Ashland, 2021. « Radiotherapy film ». <http://www.gafchromic.com/gafchromic-film/radiotherapy-films/index.asp> [consulté le 24 octobre 2021].
- 13 – L. Archambault, F. T. Proulx, J. Langevin, J. Galarneau, J. Fradette, 2018. « In vivo, time resolved, dose monitoring for pre-clinical research applications ». Québec, Université Laval et CHU de Québec-Université Laval, affiche 1 page.
- 14 – Medscint, 2021. « Scintillation dosimetry ». <https://medscint.com/scintillation-dosimetry/> [consulté le 17 octobre 2021].

**FIGURES**

1 et 2 – Photos, ©Josée Langevin, t.r.o., professeure, Cégep de Sainte-Foy  
 3, 4, 5 – Captures d'écran, plans de traitement dans le système de planification de traitement Eclipse, ©Josée Langevin, t.r.o., professeure, Cégep de Sainte-Foy

# Du 7 au 13 novembre

## Semaine des technologues 2021 : des expertises à reconnaître



Méliissa Lavallée,  
technologue en  
électrophysiologie  
médicale



Mohamed Khéilfi,  
technologue en  
imagerie médicale

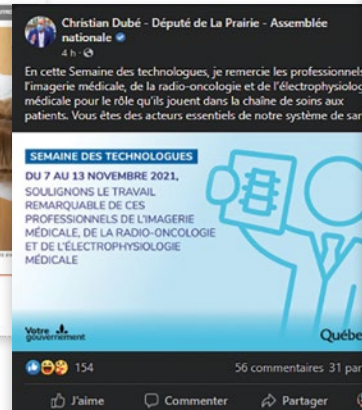
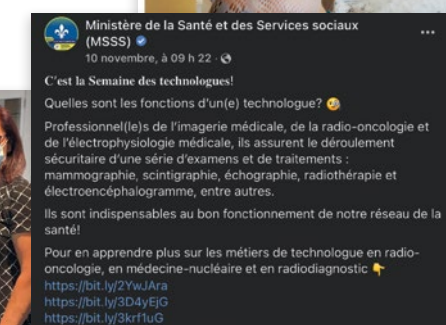
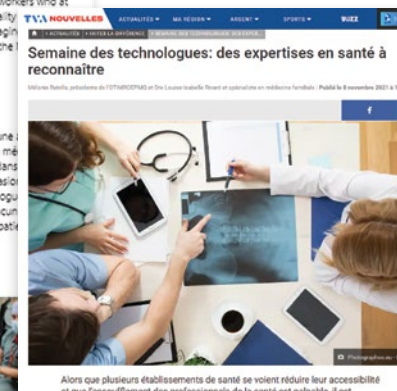
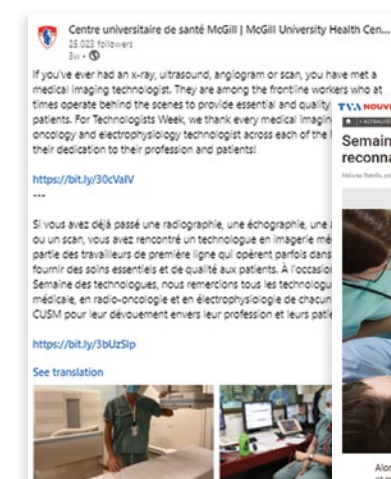


Eveline L. Masse,  
technologue en  
radio-oncologie

Merci à tous ceux qui ont contribué à faire reconnaître l'expertise des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale.



Plus de 200 000 vues !



Continuez de faire rayonner vos professions !

Retrouvez toute l'information en lien avec la Semaine des technologues sur la page [otimroepmq.ca/semaine-technologues](http://otimroepmq.ca/semaine-technologues)



# PROGRAMME D'ASSURANCE EXCLUSIF AUX MEMBRES DE L'OTIMROEPMQ



## Découvrez notre Guide des assurances

L'outil de référence pour vous accompagner dans la protection de votre patrimoine personnel et professionnel.

**Visitez notre page web dédiée pour télécharger votre copie.**