

Mars 2025
Volume 46, 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

Rechercher. Innover. Explorer.

Le rôle essentiel des technologues
dans l'avancement de la pratique



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



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

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^{MD} Platine, *World Mastercard*^{MD}, *World Elite*^{MD} de la Banque Nationale. Certaines restrictions s'appliquent. Pour plus de détails, visitez 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



Rechercher. Innover. Explorer.

Le rôle essentiel des technologies
dans l'avancement de la pratique

Mot du président

Rechercher, innover, explorer

4

Inspection

Inspection particulière sur
la compétence professionnelle

5

Déontologie

Quand l'obstruction aux demandes
de l'Ordre devient une infraction :
une brève analyse jurisprudentielle

8

Articles

Bornes d'accès électroniques 14

**L'apport de l'IA dans la recherche
paramédicale pour les MEM :** 18

une revue de littérature narrative

Coup de cœur 24

pour la quantification du débit
sanguin myocardique

**Innovation technologique
pour la médecine nucléaire :** 31

la Veriton de Spectrum Dynamics Medical

La robotique et l'imagerie médicale : 37

une autre avancée dans notre domaine

**Evaluating the use of BodyWorks
Eve® high-fidelity ultrasound
simulation equipment** 46

in formative clinical assessments

Adapter la radiothérapie : 56

l'IRM-Linac, une innovation technologique
au service des patients atteints de cancer

**Radio-oncologie : les avantages
de l'utilisation du système C-RAD** 63

pour la radiothérapie guidée par surface

**Évolution technologique :
l'intelligence artificielle de demain** 69

au service de l'électrophysiologie d'aujourd'hui !

L'ÉchoX, la revue de l'Ordre des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale, est publié depuis 1964.

Elle est disponible en format numérique sur le site de l'Ordre. • **COMITÉ DE LA REVUE** Mohamed Khélifi, t.i.m. (RD), Rita Kassati, t.r.o., Rebecca Gaspard, t.e.p.m. •

COLLABORATEURS AU CONTENU Jane Arezina, MD, Guillaume Davy, MEM, Jessica Deschamps-Maheu, avocate, LL. B., LL.M., Émilie Dion, t.r.o., Caroline D'Oliviera-Sousa t.i.m. (MN), Étienne Doucet, t.i.m. (MN), Vincent Dubé, t.i.m. (MN), Geneviève Dupuis, t.i.m. (RD), Pauline Gagnon, t.i.m. (RD), Rebecca Gaspard, t.e.p.m., Sandie Guénette-Dubois, t.i.m. (RD), Wendy Harrison, MD, Mohamed Khélifi, t.i.m. (RD), Raphaël Mathieu, t.r.o., Marcelo Montoya, LL. B., Sandra Morrissey, MD, Anne-Catherine Rivard, t.i.m. (RD), Jennifer Tremblay t.r.o. • **RÉVISION ET CORRECTION** Dominique Gaucher • **PUBLICITÉ** OTIMRCEPMQ • **DESIGN GRAPHIQUE** Bunka • **PLATEFORME DE DIFFUSION** ISSUU • **ABONNEMENTS** communications@otimrcepmq.ca • **POLITIQUE D'ABONNEMENT** Les membres

reçoivent l'ÉchoX deux fois par année par infolettre. **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 • otimrcepmq.ca

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



Mot du président

Rechercher, innover, explorer.

La première édition de l'année de votre *ÉchoX* est traditionnellement dédiée aux innovations technologiques, et celle-ci ne fait pas exception. Les avancées cliniques qui propulsent nos pratiques sont nombreuses et nous sommes confiants de vous offrir, à chaque fois, une vitrine incontournable sur celles-ci.

Nous mentionnons souvent l'importance de la recherche et de l'innovation, mais cette fois-ci, nous avons envie de vous parler aussi d'**exploration**. De cette attitude qui est à l'origine des découvertes, des améliorations, des dépassements. Entretenez votre volonté d'approfondir vos connaissances, d'être curieux et curieuses dans votre pratique. C'est ce qui vous permet d'envisager de nouvelles perspectives tant au niveau clinique et multidisciplinaire que dans la relation avec les patients. L'exploration est le précurseur de tous les progrès.

Cette démarche vers l'excellence s'appuie sur des compétences et une expertise unique, inégalées ailleurs dans le réseau de la santé. Comme technologues, nous sommes au premier plan des avancées scientifiques qui ont un impact direct sur la fluidité et la performance du système de santé québécois.

Nous jouons un rôle qui est de plus en plus assumé et reconnu. Cette édition de l'*ÉchoX* met en lumière plusieurs initiatives et projets rendus possibles grâce à l'expertise des technologues.

Ces exemples démontrent également l'importance de la formation continue et de notre engagement envers l'acquisition

de nouvelles compétences ainsi que notre participation au développement de nos professions. L'Ordre s'assure à cet égard de vous guider vers des événements de formation pertinents qui sauront répondre à vos attentes et vous rappellent votre devoir déontologique en ce sens.

Une nouvelle planification stratégique sous le signe du plein champ de pratique

Sous peu, nous vous dévoilerons notre planification stratégique. Un grand pan de cette planification sera dirigé vers le développement des professions, l'habilitation du plein champ de pratique et de la consolidation du jugement professionnel. Nous pourrions ainsi définir les pratiques avancées qui permettront de répondre aux attentes de la population à travers des activités cliniques visant à assurer la protection du public.

L'Ordre continuera à mettre en lumière et à encourager les initiatives qui ont un impact sur l'amélioration de la qualité et l'accès des services. Soyez fier.e.s de votre expertise et de vos compétences. Cela nous permettra, ensemble, d'atteindre de nouveaux sommets.

Vincent Dubé, t.i.m. (MN)
Président de l'OTIMRCEPMQ

Inspection particulière sur la compétence professionnelle

ÉTAPES D'UNE INSPECTION PARTICULIÈRE DE LA COMPÉTENCE PROFESSIONNELLE D'UN MEMBRE

Afin de s'acquitter de sa mission première, qui est la protection du public, l'Ordre des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale du Québec (l'Ordre) vérifie notamment que ses membres exercent leurs activités professionnelles dans le respect des lois, règlements et normes de pratique établis. L'Ordre fait cette vérification au moyen d'une inspection professionnelle, dans le cadre de la surveillance générale de la pratique, laquelle se déroule chaque année à travers différents programmes d'inspection et vise tous les membres de tous les domaines d'exercice. L'inspection professionnelle de la surveillance générale a d'ailleurs été abordée dans un article de *l'ÉchoX* de mai 2023.

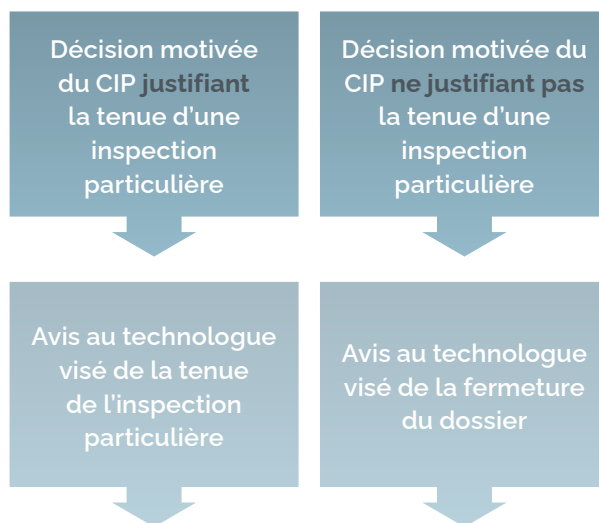
Il existe également un autre moyen d'inspection, celui-là moins connu, soit l'inspection particulière de la compétence (inspection particulière).

Qu'est-ce qu'une inspection particulière de la compétence ?

Contrairement à l'inspection professionnelle de la surveillance

générale, l'inspection particulière vise un seul technologue et a pour but d'évaluer en profondeur ses compétences professionnelles, puisque ces dernières sont mises en doute. Lors de ce processus, les connaissances, les habiletés techniques, le jugement clinique, de même que le comportement professionnel du technologue inspecté sont notamment évalués.

La prémisse de cette inspection particulière est le dépôt d'une plainte au comité d'inspection professionnelle (CIP). La plainte peut provenir du public, des autorités d'un centre hospitalier (p. ex. : du chef de service), d'un technologue, du syndic, etc. La plainte sera analysée par le service d'inspection professionnelle (SIP) qui émettra des recommandations au CIP, lequel évaluera si la tenue d'une inspection particulière est justifiée.



Sandie Guénette-Dubois, t.i.m. (RD)



Geneviève Dupuis, t.i.m. (RD)



Anne-Catherine Rivard, t.i.m. (RD)

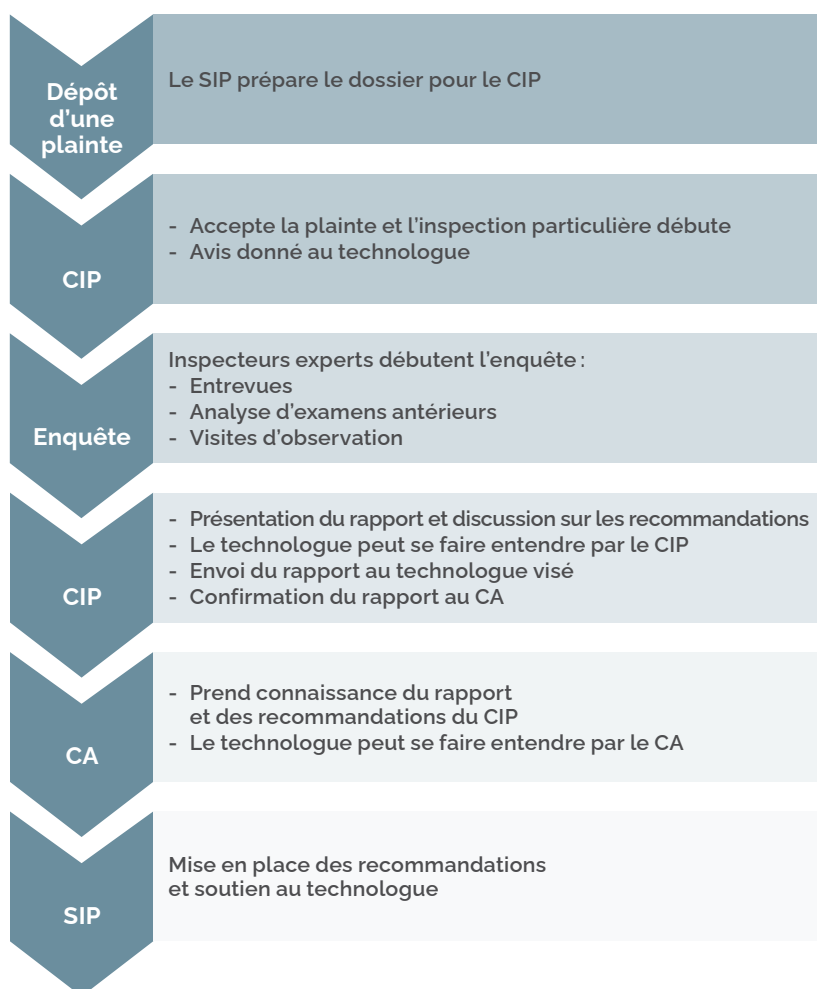
L'inspection particulière peut également être déclenchée à la suite d'une inspection professionnelle de la surveillance générale au cours de laquelle plusieurs lacunes importantes ont été constatées.

Réalisation d'une inspection particulière

Une fois rendue la décision du CIP de tenir une inspection particulière, ce dernier mandate deux inspecteurs experts dans le ou les secteurs d'activités ciblés afin d'enquêter sur la compétence du technologue visé et ainsi faire la lumière sur les faits reprochés. Pour la réalisation de l'inspection particulière, les inspecteurs rencontreront le technologue et divers intervenants gravitant autour de ce dernier. Ils analyseront les examens antérieurs et procéderont à l'évaluation technique du technologue en l'accompagnant dans ses tâches professionnelles. Cette partie de l'inspection particulière s'échelonne sur quelques jours.

Lorsque les inspecteurs experts ont recueilli toutes les informations nécessaires, un rapport est rédigé. Ce rapport est présenté au CIP, lequel l'adoptera et émettra des recommandations au conseil d'administration en fonction de ses conclusions. Le rapport est acheminé au technologue visé dans un délai maximal de 30 jours.

Processus d'inspection particulière



Recommandations à la suite d'une inspection particulière

Après analyse du rapport d'inspection particulière, le CIP devra rendre une décision à l'effet de recommander ou de ne pas recommander au CA de l'Ordre une ou plusieurs mesures de l'article 113 du *Code des professions* :

« 113. Le comité d'inspection professionnelle peut, pour un motif qu'il indique, recommander au conseil d'administration de l'ordre d'obliger un membre de l'ordre à compléter avec succès un stage ou un cours de perfectionnement ou de l'obliger aux deux à la fois ou recommander d'imposer toute autre obligation déterminée dans un règlement pris en vertu

L'inspection particulière vise un seul technologue et a pour but d'évaluer en profondeur ses compétences professionnelles, puisque ces dernières sont mises en doute.

Le mandat du CIP est de faire la lumière sur les faits reprochés et d'accompagner, le cas échéant, le technologue dans une démarche d'amélioration de sa pratique.

de l'article 90. Le cas échéant, il peut de plus recommander au conseil de limiter ou de suspendre le droit d'exercer les activités professionnelles du membre visé jusqu'à ce que ce dernier ait rempli les obligations ou satisfait aux conditions qui lui sont imposées. »

Lorsque le dossier est transmis au CA, ce dernier peut accepter ou non les recommandations du CIP. Les mesures pouvant être imposées au technologue visé par une inspection particulière pourraient par exemple être un stage de perfectionnement, dont le nombre de journées est déterminé selon les lacunes à améliorer, ou l'obligation de suivre une formation théorique supplémentaire. Le technologue pourrait également voir limiter ou suspendre son droit de pratique dans un ou plusieurs secteurs d'activités, mais ce n'est jamais la première action envisagée.

Et le technologue visé dans tout ça ?

Certes, l'inspection particulière peut être une période singulièrement stressante pour le technologue visé, mais le mandat du CIP est de faire la lumière sur les faits reprochés et d'accompagner, le cas échéant, le technologue dans une démarche d'amélioration de sa pratique. Les inspecteurs se font un devoir de mettre ledit technologue en confiance afin de favoriser le bon déroulement de l'inspection particulière. De plus, durant le processus, il a le droit de se faire entendre et est invité à le faire, que ça soit auprès des inspecteurs-experts, du CIP ou du CA. Il peut également être accompagné de son avocat pour les auditions devant le CIP ou le CA. Le technologue est avisé par courriel de chacune des étapes du processus. Il faut savoir qu'il s'agit d'un long processus dans son ensemble, qui peut durer plusieurs mois.

L'inspection particulière vise la compétence professionnelle d'un technologue. Être sans emploi au moment de l'inspection particulière de même qu'avoir changé d'employeur depuis les faits reprochés n'est pas un motif suffisant pour fermer un dossier d'inspection particulière.

RÉFÉRENCES

1 – Code des professions, 2025.

Quand l'obstruction aux demandes de l'Ordre devient une infraction : une brève analyse jurisprudentielle



M^e Jessica Deschamps-Maheu
LL.B., LL.M.



Marcelo Montoya
LL.B.

Dans l'exercice de leurs fonctions, les professionnels de la santé doivent respecter leurs obligations déontologiques, qui assurent non seulement la protection du public, mais également la préservation de la confiance du public envers la profession. Parmi ces obligations, celle de collaborer avec le syndic et le service de l'inspection professionnelle est parfois négligée ou mal comprise. Pourtant, elle joue un rôle essentiel dans la transparence et la régulation de la pratique professionnelle.

Cette obligation impose aux membres des ordres professionnels de répondre de manière diligente, complète et honnête aux demandes formulées par le Bureau du syndic ou de l'inspection. Refuser de répondre aux correspondances, fournir des informations contradictoires ou fausses, ignorer une convocation ou encore, transmettre des documents falsifiés ou incomplets n'est pas une simple négligence : il s'agit de manquements qui exposent le professionnel à des sanctions disciplinaires.

Cet article propose un examen du cadre juridique encadrant cette obligation déontologique de collaborer aux demandes de l'Ordre, afin d'en cerner les fondements, les exigences et les implications disciplinaires à partir d'exemples jurisprudentiels.

La coopération avec les instances professionnelles de l'Ordre

Comme plusieurs tribunaux l'ont souvent rappelé, exercer une profession n'est pas un droit, mais un privilège¹. Ainsi, la coopération des professionnels avec les instances de leur ordre, notamment le syndic et l'inspection professionnelle, s'appuie sur des obligations juridiques expressément prévues dans le *Code des professions*² et, pour la plupart des professionnels, dans leur *Code de déontologie*.

Pour les membres de l'Ordre des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale du Québec (OTIMROEPMQ), l'article 43 du *Code de déontologie des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et*

en électrophysiologie médicale³ oblige les professionnels à répondre rapidement et de façon honnête aux correspondances provenant du syndic, de ses adjoints ou des membres du comité d'inspection professionnelle. Plus particulièrement, l'article se lit comme suit :

« Le technologue [...] doit répondre dans les plus brefs délais à toute correspondance provenant du **secrétaire de l'Ordre, du syndic, du syndic adjoint ou d'un enquêteur ou d'un membre du comité d'inspection professionnelle**. Il ne doit pas se rendre coupable envers l'un d'eux d'abus de confiance ou de procédés déloyaux. »

Cette obligation souligne l'importance de la collaboration et de la transparence du membre dans ses relations avec l'Ordre.

Le *Code des professions* vient renforcer cette obligation avec ses articles 114 et 122 qui interdisent tout comportement pouvant nuire au travail des instances professionnelles :

« **114.** Il est **interdit d'entraver** de quelque façon que ce soit un membre du comité, la personne responsable de l'inspection professionnelle nommée conformément à l'article 90, un inspecteur ou un expert, **dans l'exercice** des fonctions qui lui sont conférées par le présent code, **de le tromper par des réticences ou par de fausses déclarations, de refuser de lui fournir un renseignement ou document relatif à une inspection** tenue en vertu du présent code ou de **refuser de le laisser prendre copie d'un tel document**.

De plus, **il est interdit au professionnel d'inciter une personne**

Question 1

Vous recevez un avis du Bureau du syndic vous demandant des informations relatives à une enquête présentement en cours. Vous devez :



A

Prendre en note cet avis et y répondre quand vous en aurez le temps

B

Ne pas répondre puisque ce n'est pas important et que vous n'êtes pas impliqué directement

C

Répondre sans délai en fournissant toutes les informations que vous possédez

Question 2

Vous recevez un message de l'inspection professionnelle qui vous indique que vous n'avez pas complété les documents requis et, donc, que votre dossier n'est pas complet. Vous devez :



A

Prendre en note ce message et y répondre plus tard ce mois-ci ou le mois prochain

B

Répondre sans délai en transmettant tous les documents demandés une fois qu'ils sont complétés

C

Répondre que vous n'avez pas le temps puisque ce n'est pas important pour vous et que vous avez d'autres priorités familiales

détenant des renseignements le concernant à ne pas collaborer avec une personne mentionnée au premier alinéa ou, malgré une demande à cet effet, de ne pas autoriser cette personne à divulguer des renseignements le concernant. [...]

122. Un syndic peut, à la suite d'une information à l'effet qu'un professionnel a commis une infraction visée à l'article 116, **faire une enquête à ce sujet et exiger qu'on lui fournisse tout renseignement et tout document relatif à cette enquête**. [...]

L'article 114 s'applique à toute enquête tenue en vertu du présent article.

Il est interdit d'exercer ou de menacer d'exercer des mesures de représailles contre une personne pour le motif qu'elle a transmis à un syndic une information selon laquelle un professionnel a commis une infraction visée à l'article 116 ou qu'elle a collaboré à une enquête menée par un syndic. »

Une pleine collaboration est donc expressément requise; non seulement les professionnels sont tenus de coopérer de manière rapide, active et transparente, mais il leur est également interdit d'influencer ou de dissuader un pair de collaborer, sous quelque forme que ce soit.

En prenant en compte les interdictions de fausses déclarations, d'omissions, d'entraves et de représailles évoquées précédemment, nous pouvons constater que le législateur a voulu instaurer un système professionnel fondé sur la transparence et la coopération de ses membres. Ce cadre renforce la responsabilité individuelle des professionnels, tout en créant un environnement de confiance dans lequel les mécanismes d'inspection et de discipline peuvent fonctionner efficacement.

L'obligation de répondre imposée aux professionnels est essentielle au bon fonctionnement du système disciplinaire. Il s'agit d'une obligation de résultat : si le professionnel ne répond pas, le syndic se trouve dans l'impossibilité de remplir les obligations qui lui sont dévolues par le *Code des professions*⁴. Une telle situation de non-collaboration paralyse le processus disciplinaire et envoie à la population un message inquiétant, à savoir que ni le syndic ni l'Ordre ne sont en mesure de les protéger. La collaboration entre le professionnel et l'Ordre est donc cruciale pour assurer l'efficacité du système professionnel et atteindre son objectif ultime : la protection du public.

Radiations, amendes et réprimandes : panorama des sanctions disciplinaires

Comme toute obligation déontologique, le non-respect de l'obligation de collaborer avec les instances professionnelles expose un membre à des sanctions disciplinaires dont la sévérité varie selon la nature et la gravité du manquement. Ces sanctions peuvent aller de la réprimande à la radiation permanente, en fonction des circonstances entourant l'infraction⁵.

Dans cette optique, une brève analyse jurisprudentielle offre une perspective essentielle pour comprendre les sanctions appliquées et dégager des enseignements sur les principes encadrant ces obligations déontologiques. À cet effet, nous examinerons quelques décisions afin d'illustrer les sanctions imposées et les leçons qui en découlent.

La réprimande et l'amende

Dans une affaire portée devant le Conseil de discipline de l'Ordre des denturologistes du Québec, un membre

a plaidé coupable au premier chef d'accusation, soit celui d'avoir fait une fausse déclaration en affirmant avoir fourni au syndic le dossier complet d'une patiente, alors que ce n'était pas le cas⁶. Ce manquement constituait une infraction à l'article 114 du *Code des professions* qui, rappelons-le, interdit toute forme d'entrave ou de tromperie envers les instances professionnelles. Pour ce chef, le Conseil de discipline a imposé une réprimande, et ce, bien que l'intimé n'ait pas caché les informations demandées et ait agi de bonne foi. En effet, les deux documents demandés n'ont pas été produits en raison d'une erreur cléricale survenue lors de la photocopie des documents envoyés. Malgré tout, le Conseil de discipline rappelle la responsabilité du professionnel de s'assurer que tous les documents transmis sont complets et intégraux, selon la demande du syndic.

Dans une autre affaire⁷, le syndic adjoint reprochait à l'intimée d'avoir fait défaut de donner des suites aux demandes formulées par le comité d'inspection professionnelle et d'avoir omis de corriger les non-conformités relevées dans le rapport d'inspection. L'intimée a plaidé coupable au chef d'accusation unique basé sur la disposition de rattachement de l'article 114 du *Code des professions*. Les faits relèvent que l'intimée a retardé indûment, pendant près de quatre mois, le processus d'inspection professionnelle, en s'interrogeant sur la pertinence et la nécessité des demandes. En effet, elle a omis de collaborer avec le comité d'inspection professionnelle, invoquant des priorités organisationnelles liées à la survie et à la réorganisation de l'organisme qu'elle dirigeait, ainsi que la préparation de sa transition vers la retraite. Malgré les rappels et les délais accordés, la membre a priorisé d'autres enjeux qu'elle jugeait plus urgents, au détriment de ses obligations déontologiques.

Même si, ultimement, l'intimée s'est conformée aux demandes de l'inspection professionnelle, les parties ont néanmoins pris en compte l'attitude de la membre comme un facteur aggravant dans la détermination de la sanction⁸. Dans sa décision sur culpabilité et sanction, le Conseil réitère, comme l'a souligné la partie plaignante, qu'« il ne revient pas à l'intimée de juger de ce qui est nécessaire pour les fins de l'inspection professionnelle »⁹. Ainsi, sur recommandation des parties, le Conseil de discipline lui a imposé une amende de 2 500 \$ en plus des déboursés¹⁰.

La radiation temporaire

Dans l'affaire *Kevorkian c. l'Ordre professionnel des Notaires du Québec*¹¹, un notaire a été reconnu

Un professionnel qui exerce ses activités au sein d'une société ne peut invoquer la personnalité juridique distincte de cette dernière pour échapper à ses obligations déontologiques. La responsabilité professionnelle reste intrinsèquement liée à la conduite du professionnel, même dans un cadre de société.

coupable des trois chefs d'accusation¹² pour son refus de collaborer avec le service de l'inspection professionnelle et son obstruction au travail du syndic adjoint, et ce, sur une période de plus de deux ans.

Le Conseil de discipline a sanctionné ces infractions par une radiation temporaire de deux mois pour chacun des deux premiers chefs et de quatre mois pour le troisième chef, purgées de manière concurrente¹³. Le Conseil a retenu plusieurs facteurs aggravants, notamment la répétition des infractions durant plusieurs années, le manque d'introspection du professionnel et son antécédent disciplinaire¹⁴.

La sanction visait également un objectif dissuasif afin de préserver la confiance du public. La décision a été portée en appel devant le Tribunal des professions¹⁵, qui a réduit à deux mois la période de radiation imposée pour le troisième chef. Le Tribunal a souligné que l'entrave au travail de l'inspection professionnelle ne devait pas être perçue comme moins grave qu'une entrave envers le syndic. Cependant, il a estimé que le Conseil avait accordé une importance excessive à la dissuasion générale et n'avait pas suffisamment individualisé la sanction, ce qui justifiait la révision de la peine pour le troisième chef.

La radiation provisoire et permanente

Dans l'affaire *Médecins (Ordre professionnel des) c. Benhaim*¹⁶, le Dr Albert Benhaim, président de la clinique Groupe Santé Physimed, a été radié de façon permanente par le Conseil de discipline du Collège des médecins du Québec en raison de manquements graves à ses obligations déontologiques. L'enquête, menée par le syndic adjoint, portait sur des allégations de frais imposés à des patients pour des services non couverts par la RAMQ. Malgré les nombreuses demandes, Dr Benhaim a refusé de collaborer, en ne transmettant pas les documents demandés, notamment des factures et des ententes commerciales entre Physimed et ses sous-traitants, arguant que les documents en question relevaient de la personne morale Physimed et non de sa responsabilité individuelle.

Avant même l'audition au fond, l'intimé a été radié provisoirement le 28 octobre 2015. Finalement, il a été radié de manière permanente, le 31 août 2016¹⁷. Cette tentative de dissocier ses responsabilités personnelles de celles de l'entité corporative a été jugée comme une obstruction intentionnelle. Le Conseil a conclu qu'en tant qu'actionnaire majoritaire et dirigeant principal de la clinique, il ne pouvait se soustraire à son devoir

déontologique de collaboration. La théorie de l'alter ego¹⁸ a été appliquée, considérant que ses actions ou omissions reflétaient directement celles de la société. En d'autres termes, un professionnel qui exerce ses activités au sein d'une société ne peut invoquer la personnalité juridique distincte de cette dernière pour échapper à ses obligations déontologiques. La responsabilité professionnelle reste intrinsèquement liée à la conduite du professionnel, même dans un cadre de société, conformément aux principes régissant le droit disciplinaire.

La radiation permanente a été justifiée par la gravité des manquements et par l'attitude du Dr Benhaim face à l'enquête du syndic, ce qui justifiait une sanction sévère et exemplaire :

« [92] Le Dr Benhaim fait l'objet d'une sanction du Conseil de discipline depuis le 23 octobre 2015 : il est radié provisoirement. **Force est de constater que cette sanction n'a eu aucun effet dissuasif sur le Dr Benhaim à ce jour. Il continue de paralyser le processus disciplinaire et, de ce fait, empêche le Syndic adjoint de remplir ses fonctions. En conséquence, le Conseil ne croit pas que l'imposition d'une radiation temporaire dissuaderait le Dr Benhaim et l'amènerait à corriger son comportement.** »

« [93] Ainsi, en prenant en considération les circonstances générales et particulières relatives à la présente affaire, le Conseil est d'avis qu'il est face à

une situation exceptionnelle qui requiert une mesure exceptionnelle. Le Dr Benhaim ne peut demeurer membre du Collège tant et aussi longtemps qu'il n'aura pas répondu aux demandes du Syndic adjoint. La radiation permanente s'impose donc, comme le recommande le Syndic adjoint¹⁹. »

L'affaire a été portée en appel devant le Tribunal des professions²⁰. Dans sa requête en appel, Dr Benhaim demandait au Tribunal de casser la décision du Conseil et de lui imposer une réprimande. Dans son mémoire, il requérait de substituer les radiations permanentes par des radiations temporaires de trois mois de manière concurrente entre elles.

Après analyse, l'appel est accueilli en partie aux seules fins d'infirmier l'ordonnance de remise des documents. L'appel sur la déclaration de culpabilité et de la sanction a toutefois été rejeté. Dans sa décision, le Tribunal réitère qu'il « s'agit d'une situation exceptionnelle pour laquelle une sanction exceptionnelle s'impose »²¹. En refusant de répondre aux demandes du syndic, le Dr Benhaim a non seulement paralysé le processus disciplinaire, mais a mis en péril la protection du public, ce qui en fait une infraction très grave qui méritait une sanction exemplaire²².

L'éthique au cœur de la pratique professionnelle

La collaboration avec le syndic et l'inspection professionnelle est une obligation déontologique essentielle



SAITIHD

qui garantit la transparence et le respect des normes établies par les ordres professionnels. Comme l'ont démontré les exemples jurisprudentiels, un manquement à cette obligation constitue une infraction grave qui peut mener à des sanctions disciplinaires, dont la radiation permanente.

Ces sanctions rappellent que la coopération avec l'ordre ne relève pas seulement d'une formalité administrative, mais constitue une exigence fondamentale pour protéger le public et préserver sa confiance. Il est donc crucial que les professionnels fassent preuve

de prudence, de transparence et de collaboration avec les instances professionnelles, et ce, notamment en répondant aux demandes de manière complète et dans les délais fixés par l'instance de l'ordre qui en fait la demande.

En ce sens, les professionnels doivent garder à l'esprit que toute forme d'entrave, même non intentionnelle, peut être interprétée comme une infraction et entraîner des conséquences importantes sur le plan disciplinaire.

Cet article a illustré quelques exemples de décisions disciplinaires, mais il existe une riche jurisprudence en cette matière.

RÉFÉRENCES

1 – Voir notamment : *Comité exécutif de l'Ordre des ingénieurs du Québec* c. Roy, 2011 QCCA 1707, *Laporte* c. *Collège des pharmaciens de la province de Québec*, 1974 CanLII 205 (CSC), [1976] 1 R.C.S. 101 et *Pauzé* c. *Gauvin*, 1953 CanLII 65 (SCC), [1954] R.C.S. 15.

2 – RLRQ c C-26, art. 114 et 116.

3 – RLRQ c T-5, r 5.

4 – *Supra*, note 2, art. 122, 123 et 123.1.

5 – Une radiation provisoire immédiate peut même être imposée à un membre dont le plaignant lui reproche le non-respect de cette obligation. Bien qu'il s'agisse d'une mesure exceptionnelle et rare, cette mesure peut néanmoins être imposée lorsqu'un professionnel est accusé d'avoir enfreint des dispositions telles que l'article 114 ou le deuxième alinéa de l'article 122 du *Code des professions*.

6 – *Denturologistes (Ordre professionnel des)* c. *Lefebvre*, 2016 CanLII 64193 (QC ODLQ). À noter que le deuxième chef portait sur un manquement professionnel lors de la fabrication d'une prothèse dentaire. Le troisième chef concernait une facturation d'honoraires illicites, la patiente ayant reçu une facturation, malgré son statut de prestataire de l'aide sociale.

7 – *Conseillers en ressources humaines et en relations industrielles agréés (Ordre professionnel des)* c. *Ouellette*, 2022 QCCDCRHR 4.

8 – *Ibid*, para. 58 à 66.

9 – *Ibid*, para. 63.

10 – Aux termes de l'article 151 du *Code des professions* (RLRQ, c. C-26), le conseil de discipline peut, dans le cadre d'une décision disciplinaire, condamner un professionnel déclaré coupable à payer les déboursés reliés à l'instruction de la plainte. Ces déboursés comprennent notamment les frais d'expertise, de transcription des témoignages, ainsi que tout autre coût raisonnablement engagé pour la tenue de l'audience disciplinaire. Cette disposition reflète le principe selon lequel les coûts associés aux manquements déontologiques doivent être assumés par le professionnel fautif, protégeant ainsi les ressources financières de l'ordre et, indirectement, celles de ses membres.

11 – 2023 QCCDNOT 4.

12 – Le premier chef reprochait au notaire d'avoir omis de répondre aux demandes répétées d'une inspectrice entre novembre 2020 et juin 2021, contrevenant ainsi à l'article

59 du *Code de déontologie des notaires*. Le deuxième chef portait sur son refus de collaborer avec une autre inspectrice concernant des fonds non fermés pour divers clients depuis plusieurs années, ce qui constituait également une violation de l'article 59. Enfin, le troisième chef concernait une entrave au travail du syndic adjoint, résultant de son absence de réponse aux demandes formulées entre septembre 2021 et février 2022, en infraction à l'article 114 du *Code des professions*.

13 – Il a également ordonné la publication de l'avis de radiation dans un journal local et le paiement des déboursés.

14 – *Supra*, note 11, para. 7. L'appelant avait un antécédent disciplinaire datant du 18 novembre 1999, pour lequel il avait été condamné à des amendes totalisant 2 100 \$. Cette infraction n'avait toutefois aucun lien direct avec celles visées dans le présent dossier.

15 – *Kevorkian c. Notaires (Ordre professionnel des)*, 2024 QCTP 41 (CanLII).

16 – 2016 CanLII 59816 (QC CDCM).

17 – *Ibid*, para. 1 et 2.

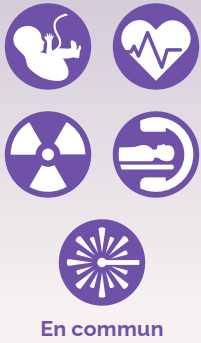
18 – La théorie de l'alter ego est un concept juridique permettant de lever le voile corporatif, c'est-à-dire de considérer qu'une personne morale et la personne physique qui la contrôle ne forment qu'une seule entité. Elle est utilisée lorsqu'il est démontré que la société est utilisée comme un simple prolongement de la volonté personnelle de son dirigeant, par exemple pour échapper à des obligations légales ou déontologiques. Cette théorie s'applique particulièrement dans des contextes où une personne exerce un contrôle exclusif sur une entité et où celle-ci est utilisée de manière abusive ou frauduleuse, notamment pour entraver des enquêtes disciplinaires ou masquer des responsabilités.

19 – *Supra*, note 17, para. 92 et 93.

20 – *Benhaim c. Médecins (Ordre professionnel des)* 2019 QCTP 115.

21 – *Ibid*, para. 97.

22 – La requête en demande de réinscription au Tableau de l'Ordre du Dr Benhaim a été accueillie le 27 janvier 2021. Le Conseil a jugé que la période de radiation purgée par le requérant et sa remise de documents satisfaisaient aux objectifs d'exemplarité et de dissuasion de la sanction. (Voir : *Benhaim c. Médecins (Ordres professionnels des)* 2021 QCCDMD 35, para 74).



Bornes d'accès électroniques



Pauline Gagnon
t.i.m.

*Assistante cheffe
en imagerie
Hôpital Notre-Dame*

C'est avec plaisir et enthousiasme que je vous partage mon expérience dans la participation au projet d'implantation des bornes d'accès à l'accueil de la radiologie dans mon centre de pratique.

Le point de départ a lieu en février 2024, alors que j'ai été sélectionnée pour le remplacement de vacances de mon collègue assistant chef. Par la suite, en raison d'une restructuration de postes, d'une réorganisation en vue de regrouper les différents intervenants des secteurs et locaux administratifs, j'ai été assignée à des tâches en dehors de mon champ d'expertise habituel. Un remplacement temporaire a donné place à un poste de surcroît par intérim d'assistante chef consacré à la gestion clinique administrative, dont les tâches ont évolué au cours de l'année. C'est en mars-avril que la réorganisation des locaux de l'accueil a commencé et, en mai, c'était le moment idéal pour que le projet d'implantation des bornes d'accès soit introduit dans notre département : un nouveau système d'automatisation d'enregistrement pour les patients se présentant en radiologie.

En tant que technologue depuis 1992, j'ai vécu rapidement la transition vers mes nouvelles fonctions d'assistante chef cléricale. Étant à l'opposé de la technique, mais très stimulant, au cours des mois qui ont suivi, ce retournement complet de ma carrière a mis en évidence des aptitudes et des intérêts que je n'avais pas envisagés sérieusement auparavant. Mon expérience technique, les nombreuses années de contact avec les

patients et les changements professionnels vécus à travers le temps ont fait en sorte que j'ai su assurer une ligne directrice ciblée sur les préoccupations des usagers ainsi que sur ceux de mes collègues.

C'est dans ce lieu de travail dans lequel j'ai évolué et où j'ai pu observer de nombreux changements au fil des années, que je suis passée de spectatrice à participante active dans la transformation et la réorganisation de certains des principaux locaux du département. J'ai eu la chance de participer à l'évolution vers ce changement, qui a été l'une des étapes les plus importantes dans la modernisation de l'accueil aux usagers.

Lors de l'intégration des bornes d'accès, mon rôle a été essentiel. Mon expertise a permis d'assurer une implantation adaptée aux besoins des patients, du personnel soignant et des agents de l'accueil. J'ai notamment participé à l'évaluation des fonctionnalités nécessaires, à l'adaptation des processus cliniques ainsi qu'à la formation des équipes.

Une période de préparation et d'ajustement préimplantation d'environ 8 à 10 semaines a été nécessaire. La planification avec le service de bénévoles en vue d'assurer leur présence et leur soutien à proximité de notre service s'est avérée primordiale. De plus, la présence et l'expérience de l'équipe du fournisseur chargée de ce projet a été essentielle pour que l'implantation se fasse de manière fluide et efficace. Elle a su nous guider dans le choix des options les plus adaptées à notre flux de travail et au volume d'accueil de notre service.



Figure 1 : Voici ce qui apparaît sur l'écran d'accueil de la borne d'accès.

Voici un bref aperçu, dans les prochains paragraphes, du cheminement de l'utilisateur à partir de son arrivée à la borne d'accès, jusqu'à la réalisation de son examen, ainsi que l'action nécessaire des différents intervenants impliqués dans le processus.

Le projet de bornes d'accès électroniques, désormais en place, vise à améliorer l'expérience patient tout en optimisant les processus administratifs.

Cette technologie, d'utilisation simple, permet aux patients de s'enregistrer de manière autonome dès leur arrivée et réduit ainsi le nombre d'interactions avec le personnel administratif de l'ordre de 75 %. Deux applications entrent en concordance dans le système de bornes. L'une est vouée aux bornes et envoie un message annonçant l'arrivée du patient au département de l'imagerie. L'autre contient tous les rendez-vous attribués et jumelle les informations du dossier radiologique de l'utilisateur, le type d'examen prévu et l'heure de son rendez-vous. Cela permet une évolution notable, et c'est un grand pas en faveur de l'amélioration du service de l'accueil des patients. Cette automatisation favorise grandement la fluidité de leur parcours au sein des différents secteurs d'activités offerts en radiologie. La coordination des différentes fonctionnalités de ces applications reliées à la borne contribue à une prise en charge plus efficace et plus rapide sur les plans administratif et technique.

À son arrivée, l'utilisateur doit avoir en main sa carte d'assurance maladie du Québec afin de numériser le code-barre qui y est présent. Au cours du processus, il est invité à répondre à différentes questions le concernant, pour valider ses coordonnées personnelles ainsi que le type de rendez-vous prévu. Il procède ensuite à l'impression de son billet à conserver sur lequel est indiquée la direction à emprunter vers la salle d'attente du lieu de son examen. Ce faisant, il annonce son arrivée au département. Une fois dans la salle d'attente, il doit attendre que son numéro s'affiche à l'écran et il devra suivre les directives affichées le moment venu afin de se rendre à la salle prévue pour son examen.

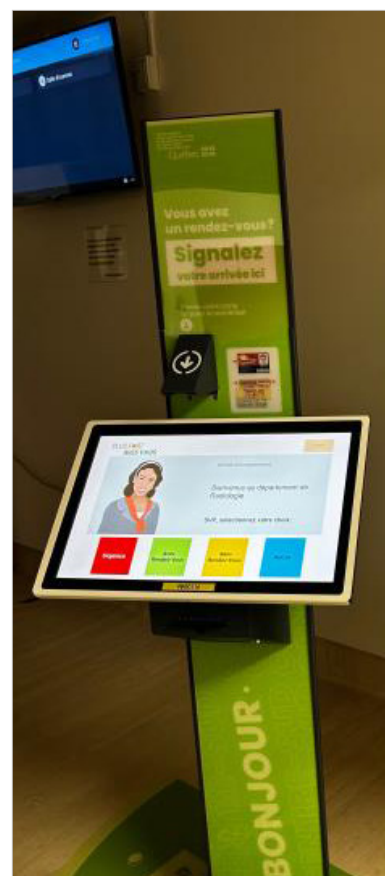


Figure 2 : En se basant sur la volumétrie de patients qui se présentent à notre service, c'est à dire de l'ordre de plus de 250 par jour, nous avons opté pour l'acquisition de deux bornes afin d'offrir un meilleur service. Ce choix s'est avéré le plus approprié et le plus adapté à nos besoins.

Dans la situation où le dossier du patient est incomplet ou non conforme, il sera dirigé vers le guichet de l'agent administratif qui prendra en charge son dossier afin de valider ou modifier les informations disponibles. À la suite de la mise à jour préalable nécessaire à la réalisation de son examen, il sera dirigé par l'agent vers la salle d'attente dédiée à son examen.

Du côté technique, le ou la technologue prend connaissance de l'arrivée de l'utilisateur dans la

Le projet de bornes d'accès électroniques, désormais en place, vise à améliorer l'expérience patient tout en optimisant les processus administratifs.

salle d'attente de son secteur à partir de l'application. Par la suite, il ou elle active la fonction nécessaire pour diriger le patient vers sa salle afin de procéder à l'examen et met fin à la consultation dans le système, une fois l'examen complété.

Quant à mon rôle, en tant qu'assistante cheffe administrative, je dois observer et évaluer à distance le nombre de patients en liste et m'assurer que le flux de travail est efficace afin d'éviter les files d'attente trop longues. Lorsque nécessaire, j'apporte mon soutien, en collaboration avec l'équipe.

Grâce à ces bornes, les patients bénéficient d'une expérience simplifiée et plus rapide dès leur arrivée. La réduction du temps d'attente et l'aménagement conçu pour inviter les usagers à s'asseoir en attendant que leur numéro s'affiche à l'écran, améliorent leur confort et leur satisfaction. Ce système apporte une plus-value qui est un facteur de succès pour les usagers qui sont en condition physique limitante. Comme nous recevons un volume important de patients quotidiennement, le fonctionnement de la borne aide grandement à cibler les dossiers qui requièrent une attention particulière. Ainsi, les agents de l'accueil peuvent se concentrer sur des tâches nécessitant une attention plus ciblée, notamment l'accompagnement des patients ayant des besoins spécifiques liés à leur dossier médical, tels que : examens sans rendez-vous, accompagnement lors de la facturation d'examen pour les patients non assurés, usagers bénéficiant du programme fédéral santé immigration (PFSI), accueil des patients désirant déposer une requête en vue de la prise de rendez-vous, etc.

Ce projet a nécessité une étroite collaboration entre les équipes cliniques, informatiques, administratives et techniques.

Parmi les défis rencontrés, dès le départ, nous avons eu un enjeu majeur à surmonter. Le jour prévu du déploiement, la nouvelle signalisation directionnelle favorisant l'orientation des usagers vers les différents secteurs d'activité de notre département était déficiente. Malgré la préparation au préalable que nous avons organisée en vue du jour J, l'installation des flèches planifiée devant être effectuée par le service visé, n'avait pas été faite, en raison d'un projet d'envergure et de réorientation signalétique prévu pour l'ensemble de l'hôpital. Comme nous n'avions pas été avisés, ce projet freinait considérablement toutes les demandes d'affichage dans le service, malgré nos demandes insistantes et l'impact direct prévu sur l'orientation des patients. Cette situation nous a forcés à revoir nos options de signalisation temporaire afin d'orienter au mieux les patients dans notre service. Nous avons dû rapidement installer des affiches murales afin que les indications inscrites sur les billets de la borne soient les plus fidèles possibles à la direction que les patients devaient emprunter vers les salles d'attente de la radiologie. Ce contretemps a semé la confusion et l'insatisfaction chez les usagers, ainsi qu'au sein de nos équipes. Bien que la rectification se soit avérée imparfaite, cette première journée a été un succès. Un autre défi : nous avons observé de la résistance au changement sur différents plans, et une période d'adaptation, de collaboration; un soutien aux équipes administratives et techniques a été nécessaire. Autres défis rencontrés : l'adaptation des

patients à cette nouvelle technologie. La gestion des ajustements principalement informatiques a été un enjeu non négligeable qui est toujours présent après six mois d'utilisation des bornes d'accès. Une approche multidisciplinaire a été essentielle pour garantir le bon fonctionnement du système et répondre aux besoins spécifiques du département d'imagerie.

Un point très important à considérer est la présence de bénévoles, principalement les jours de semaine, qui a été et demeure un atout indispensable et grandement apprécié des usagers et de notre équipe administrative, puisque leur présence réduit grandement la charge de travail des agents. Ces personnes admirables sont d'une aide précieuse et d'un soutien inestimable pour les nombreux usagers peu habitués à un accueil automatisé.

Bien que la situation signalétique ne soit toujours pas réglée à ce jour, nous avons réussi à trouver un compromis pour rectifier au mieux la situation. Cependant, il est à souhaiter que le projet de signalisation de l'hôpital se concrétise dans les plus brefs délais afin d'optimiser l'utilisation des bornes en place. Comme nous le savons, la radiologie représente un service essentiel dans un hôpital de haut volume comme le nôtre.

Il est certain que l'utilisation des bornes et l'amélioration de leur usage autonome est en constante évolution, et, malgré le fait que le système en place fonctionne bien, il demeure que des ajustements ponctuels sont nécessaires afin d'optimiser leur efficacité. En effet, à l'usage, nous avons dû ajuster à quelques reprises les paramètres qui avaient été choisis en début de projet afin de répondre à la réalité terrain vécue par le personnel et les usagers. L'objectif que nous nous efforçons de conserver est de poursuivre l'amélioration de l'expérience patient, tout en contribuant à la modernisation du système de santé; rendre ce dernier plus sécurisant pour nos usagers demeure notre priorité.

Comme exprimé plus haut, à son arrivée au département, le patient doit avoir en sa possession sa carte RAMQ pour pouvoir s'enregistrer à la borne. Actuellement, il est toujours requis que l'utilisateur utilise un dossier local pour profiter des soins de santé à notre

centre. Cependant, la création de cartes plastique n'est plus disponible à notre hôpital, ce qui est un élément important d'amélioration pour la préservation de l'environnement et un pas de plus vers l'informatisation des dossiers médicaux.

Comme nous le savons, l'uniformité de l'utilisation de la carte RAMQ est à nos portes. L'introduction de ce projet est déjà en place dans certains gros centres.

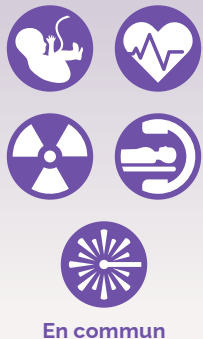
Pour conclure, je dirais que la transformation numérique, qui s'introduit graduellement avec l'installation des bornes d'accès, rejoint sans aucun doute la vision plus large qui vise à soutenir le développement du dossier de santé numérique pour l'ensemble des services de santé au Québec. Cela contribuera dans un avenir rapproché à une avancée majeure vers un système de santé plus accessible, plus efficace et centré sur le patient. Les bornes d'accès y contribueront sans aucun doute.

Depuis le début de ce projet, j'ai observé que, malgré les obstacles rencontrés, nous arrivons toujours à trouver des solutions. En tenant compte du fait que le patient est au centre de nos actions et que la porte d'entrée des soins offerts devrait rendre l'expérience la plus simple et la plus agréable possible, il apparaît que ce nouveau système d'accueil automatisé nous aide énormément au quotidien et contribue à offrir une meilleure expérience au patient, à son arrivée en radiologie. Avec le recul, je constate qu'il est très utile de consulter les autres services utilisant les bornes d'accès avant de procéder à l'implantation de celles-ci. Cette petite recherche aide à mettre en évidence les choix les plus adaptés au besoin de chaque service et à cibler les erreurs à éviter.

La participation de toute l'équipe de déploiement a été primordiale pour le succès de ce projet, et je tiens à remercier toutes les personnes qui y ont participé, de près ou de loin, pour leur implication et leur soutien tout au long du processus. Je tiens à remercier tout particulièrement mon équipe pour sa collaboration constante depuis le premier jour de l'implantation des bornes. Leur engagement a contribué à une plus grande efficacité du système d'accueil automatisé, et ce travail d'équipe se poursuit présentement au bénéfice des patients.

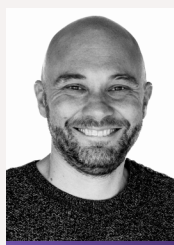
FIGURES

1 et 2 – Banque personnelle de l'auteure.



L'apport de l'IA dans la recherche paramédicale pour les MEM : une revue de littérature narrative

Tel que paru dans l'édition 346 : 16-23 de la revue *Le Manipulateur d'imagerie médicale et de radiothérapie* en janvier 2025. Merci à l'AFPPE et à M. Davy pour le partage de l'article.



Guillaume Davy

MEM Echographie
Doppler,
coordonnateur
paramédical de
la recherche

CHU de Poitiers,
LRCOM i3M-DACIM-
MIS team LMA /
CNRS 7348

Les manipulateurs d'électroradiologie médicale (MEM) sont engagés dans la production de documents scientifiques. Que ce soit pour un dossier éducatif, une réunion de service, un mémoire de fin d'études en formation initiale (DE ou DTS) ou en formation cadre de santé, mais aussi ceux issus d'un diplôme universitaire, voire même lors des travaux liés aux masters et doctorats.

La publication de travaux scientifiques constitue le fondement de toute discipline. Elle permet de partager les connaissances avec la communauté de ses pairs, valider les résultats de recherche, encourager la collaboration et l'échange d'idées, et ainsi escompter obtenir des implications pratiques importantes.

Publier est un devoir éthique, collectif et personnel.

À l'international, on dénombre un total de 7 618 articles publiés dans le « big four », c'est-à-dire les revues spécialisées pour les

MEM et indexées sur PubMed. Seulement 17 articles présentent un auteur avec une affiliation française, soit 0,2 % de la production mondiale. Cette proportion infime est légèrement inférieure à celle de nos collègues infirmiers¹. Ce manque de communication entrave l'amélioration de la qualité, diminue l'impact et l'intégration des innovations. Cette sous-publication soulève plusieurs hypothèses. Elle concerne notamment le manque de culture de la recherche, de reconnaissance individuelle des efforts de publication, mais aussi les éléments liés à l'acquisition de la méthode nécessaire, à la barrière linguistique, à l'environnement entourant la publication scientifique, au niveau de confiance en soi quant à la maîtrise de sa langue ou encore au temps requis pour la rédaction dans un contexte d'activité professionnelle souvent contraignant.

L'AFPPE soutient ces efforts de publication en tant que société savante². Son objectif est de faire progresser le

savoir et de le diffuser dans son domaine. L'existence depuis 1966 de la revue « Le Manipulateur d'imagerie médicale et de radiothérapie » est une parfaite illustration qui se complète par les présentations orales lors des différentes journées de formation. L'archivage de toutes les revues constitue un socle précieux de ressource unique pour notre métier. L'AFPPE s'engage dans la veille scientifique grâce à sa newsletter, dans la mise en valeur des productions par l'intermédiaire des différents prix, dont le Prix Serge Mourgues, ainsi que dans le soutien à la création de connaissances avec la Bourse de Recherche AFPPE/CNPMEM.

L'intelligence artificielle (IA) se décline par une multitude d'outils jouant un rôle dans l'écriture scientifique. Dans ce domaine, deux grands types d'IA peuvent être identifiés : l'IA générale, qui donne naissance à des outils spécialisés, et l'IA générative, également connue sous le nom de modèles de langage étendus (LLM), qui mène à la création de textes. Les exemples les plus courants incluent ChatGPT, Llama et Google Gemini. Ces logiciels stockent et relient une quantité de livres de référence et d'articles scientifiques sans précédent et dépassent les compétences humaines. Ces outils sont en passe de transformer l'écriture scientifique³.

Cela nous interroge sur l'état de l'art des différents thèmes, dont l'IA facilite la rédaction scientifique et augmente la qualité de la rédaction scientifique⁴ pour les MEM et d'en préciser les limites et les dangers⁵.

Méthode

Une revue de littérature narrative a été effectuée à partir de la base de données PubMed en utilisant les termes MeSH « Artificial intelligence », « Publishing », « Writing » ainsi que « academic writ* ». Nous avons privilégié les méta-analyses, les revues systématiques de la littérature, puis les études contrôlées randomisées. L'effet boule de neige a été utilisé sur différentes revues révisées par les pairs en priorisant les points originaux. L'exploration bibliographique a été complétée par des outils de cartographie Connectedpapers, puis Researchrabbit. Cette revue a eu lieu en novembre 2024.

Les outils cités ont été testés et demeurent peu mis en avant en rapport avec l'aspect mouvant des données probantes dédiées à l'IA. Dans l'optique de répondre à des auteurs occasionnels, la sélection des outils comporte un critère d'accession sans frais.

Nous avons regroupé les articles suivant des thèmes retenus dans les revues systématiques de la littérature, puis nous les avons complétés le cas échéant. Les résultats et discussions sont présentés pour chaque thème.

Résultats et discussion thématique

Sept principaux thèmes où l'IA constitue un apport dans la rédaction scientifique⁶ existent :

1. Nourrir et soutenir l'idée

Les outils d'IA génératifs peuvent mettre en relation de grandes quantités d'articles scientifiques historiques et récents. Ils peuvent faire la synthèse des tendances globales et signifier des manques dans une discipline. Les liens entre des études transdisciplinaires sont également rendus plus faciles.

Ces outils peuvent également mettre en lumière des thématiques sous-étudiées ou très étudiées en recherche scientifique.

Exemple de prompt pour Llama ou ChatGPT :

« À partir des articles disponibles sur PubMed, donne-moi les 3 principales idées de recherche clinique permettant d'améliorer la pratique des manipulateurs d'électroradiologie, en diminuant la dosimétrie du patient. »

La réponse propose d'étudier l'effet d'algorithmes numériques de réduction de dose, de détection de mouvement du patient ou le développement de protocole d'imagerie personnalisée au patient

Ou « Donne-moi des thèmes de recherche en santé en imagerie permettant d'améliorer la prise en charge des patients via une approche sociologique ou psychologique. »

Les réponses sont multiples et générales, allant de la perception des risques et des bénéfices liés à un examen, de l'influence des facteurs socio-économiques sur l'accès aux soins, ou encore du rôle des réseaux sociaux dans le soutien du patient.

La limite de cette approche est liée à la constitution de sa base qui se fonde sur les articles existants. Ainsi l'IA est incapable d'être créative ou innovante, et les problématiques non publiées ne peuvent de facto être intégrées. Conserver un esprit critique des propositions est nécessaire. Les adaptations suivant les pratiques nationales sans précision supplémentaire dans le prompt, sont également difficilement prises en compte par ce type d'outils.

2. Revue de littérature

Pour tous travaux de recherche, la revue de littérature se doit d'être de haute qualité afin de proposer des résultats probants. Pour comprendre le fonctionnement de PubMed, de son thésaurus, ou pour élaborer une équation de recherche stable, il faut assimiler une méthodologie de recherche.

L'apport de l'IA dans les travaux académiques contribue à modifier la notation en diminuant la forme et renforçant le fond par une bibliographie fournie, récente et pertinente. Cet élément permet aux correcteurs de différencier la qualité des travaux.

Les IA génératrices (de type ChatGPT) sont à bannir. Ces outils ont tendance à combler leur argumentaire par des éléments totalement erronés vous conduisant à l'erreur.

Trois outils complémentaires sont efficaces et répondent à un besoin spécifique. Ce sont des programmes en ligne nécessitant régulièrement la création d'un compte, mais sans installation.

- Consensus.app

En tapant vos mots-clés, Consensus.app vous propose des articles de très haute qualité (méta-analyse, recommandation, etc.). Il propose une synthèse de cette thématique ou de chaque article.

Ces quelques articles permettent de répondre rapidement à une question clinique ou de débiter sa revue de littérature.

- ConnectedPapers

Cet outil cartographie les relations entre les articles scientifiques. Il permet d'étendre votre recherche.

En pratique, à partir des articles phares détectés par Consensus.app, vous explorez la thématique facilement et visuellement en détectant des nœuds, c'est-à-dire des articles centraux.

- ResarchRabbit

ResarchRabbit se connecte à votre compte Zotero (outils de gestion bibliographique). Il établit une cartographie de votre bibliographie. Il met en relation les liens entre les articles que vous aviez sélectionnés et ceux existants. Ainsi, il peut identifier des articles pertinents, mais manquants dans votre bibliographie.

Si vous effectuez une revue de littérature systématique, celle-ci doit être exhaustive et l'outil Rayyan permet de faciliter

3. Compréhension de l'article

Plusieurs barrières existent à la compréhension d'articles scientifiques, surtout pour les francophones, qui peuvent conduire les MEM à se détourner de cette source d'information.

ChatGPT, Llama, peuvent écrire un texte au format IMRaD, mais la véracité les condamne en premier jet. En effet, ils ne sont pas en mesure de rédiger un article scientifique de manière autonome et le contenu doit être systématiquement vérifié.

La première est l'usage de la langue anglaise dans la presse académique. Aujourd'hui les outils d'IA révolutionnent cette approche en proposant des traductions instantanées qui permettent de comprendre le sens global du contenu. De temps à autre, la conservation du mot en version originale permet de mieux comprendre en profondeur le sens d'un article. Les outils d'IA populaires sont Deepl, Google traduction ou ChatGPT. Certains d'entre eux peuvent s'intégrer dans vos navigateurs et traduisent les articles instantanément.

Le piège de ces outils survient lors de la recherche, où votre moteur de recherche (p. ex. : PubMed) cherche le terme en français et affiche par erreur, aucune référence dans sa base. Cela vous redirige vers une absence erronée de résultat.

La lecture d'article scientifique peut paraître déroutante pour un non initié. Le style concis, la structuration standardisée, les indicateurs statistiques d'un article, peuvent rendre sa lecture longue et difficile. Des outils d'aide à la lecture efficace d'IA permettent de synthétiser les articles, de pointer les éléments clés, mais aussi de proposer des réponses aux questions comme explication d'un paragraphe, d'un tableau, ou d'étayer un paragraphe court par un chat dédié. SciSpace (typeset), logiciel le plus populaire, propose une extension à votre navigateur qui déclenche un 'compagnon' lorsque vous lisez un article sur le web. SciSpace s'intègre à l'usage mieux que la variante ChatPDF.

4. Analyse des données

Des outils comme SciSpace permettent de comparer une série d'articles sélectionnés et d'en établir des tableaux de synthèses. Ces liens entre les articles permettent de synthétiser la littérature.

L'analyse des résultats demande l'utilisation de certains logiciels. Des outils comme ChatGPT ou Llama peuvent aider à résoudre des problèmes de formules Excel ou de codage pour des logiciels tels que Rstudio. Dans un exercice d'étude qualitative, des outils open source comme Taguette ou Iramuteq permettent déjà de faciliter les classements. Mais les IA peuvent également faciliter la transcription d'entretiens à l'écrit. Des IA génératrices peuvent alors corriger le corpus des erreurs vocales, les synthétiser, identifier les points clés. Ensuite, avec l'ensemble du corpus, ce type d'IA peut proposer les thèmes communs et vous pouvez l'interroger à loisir.

5. Assistance d'écriture

Les outils d'IA générative ont montré leurs efficacités en augmentant la qualité des articles scientifiques⁷. ChatGPT, Llama, peuvent écrire un texte au format IMRaD, mais la véracité les condamne en premier jet. En effet, ils ne sont pas en mesure de rédiger un article scientifique de manière autonome et le contenu doit être systématiquement vérifié. De plus, en combinant divers extraits provenant de page du web, ces IA peuvent vous conduire vers du plagiat. La prudence est donc nécessaire. Des domaines d'actions plus raisonnables consistent à utiliser ces outils pour proposer un plan, pour étendre ou pour synthétiser un passage d'un texte.

Exemple de prompt :

« Je dois rédiger un dossier universitaire, pourrais-tu écrire un paragraphe dans un style scientifique qui évoque les 3 facteurs de radioprotection (temps, écran, distance) ? »

En anglais, Deepl write ou SciSpace permettent de reformuler des phrases en anglais vers une plus grande qualité et permet d'utiliser un style universitaire. Ceci est tout à fait réalisable avec ChatGPT ou Llama via un prompt dédié.

Exemple de prompt :

« Je dois rendre un travail universitaire, pourrais-tu réécrire ce paragraphe dans un style scientifique ? »

Dans un autre registre, certains outils payants, tels qu'Antidote, sont connus pour être de redoutables correcteurs orthographiques, mais permettent également de paraphraser. L'apport de ce type de logiciel est indéniable.

6. Amélioration de son écrit

Une fois votre dossier écrit, vous pouvez augmenter sa qualité en demandant de le corriger via un prompt spécifique. L'idée est d'attribuer le rôle d'enseignant ou de reviewer de tel journal à l'IA.

Exemple de prompt :

« Je suis enseignant à l'université dans le domaine [X] et je dois corriger le dossier de l'un de mes étudiants, qui devait réaliser [x]. Pourrais-tu me lister les forces et faiblesses de ce document ? »

À noter que l'étude américaine de Parker, tend à montrer que ChatGPT a une évaluation plus stricte que les humains sur une promotion d'étudiant infirmier⁸.

Vous pouvez également leur demander des actions plus précises d'analyse, comme la

vérification de l'ordre logique de la rédaction. Les IA génératrices sont plus bénéfiques en les positionnant en tant qu'assistant indirect⁹.

Exemple de prompt :

« Revoyez ce paragraphe et mettez en évidence les lacunes logiques ou les domaines qui nécessitent un développement complémentaire. »

D'une manière générale, l'interrogation des chabots par les étudiants est un atout pédagogique important. Une étude randomisée¹⁰ montre que les corrections proposées par l'IA apportent plus de retours qu'avec des enseignants humains seuls. Cela permet aux étudiants d'augmenter l'envie de participer à ces études, d'augmenter leur autonomie, leur motivation et les postures prompt à l'enseignement¹⁰.

7. Communication et sensibilisation

La communication des résultats est essentielle pour la dissémination de meilleures pratiques.

Les traductions instantanées permettent de faciliter la collaboration et les échanges internationaux. L'intégration de chercheurs francophones au sein de réseau de recherche anglophone est plus aisée. L'IA présente dans les outils de visioconférence permet également des sous-titrages instantanés dans sa langue maternelle permettant d'augmenter la portée des échanges. Par exemple, les webinaires de l'EFRS offrent des transcriptions, qui peuvent être traduites en français par l'IA, permettant ainsi facilement l'accès à du contenu européen de notre domaine professionnel.

Les canaux de communication récents, tels que les réseaux sociaux, doivent être utilisés pour promouvoir les données probantes. Dans ce contexte, de nombreuses revues sollicitent à l'élaboration d'abstract graphique, à savoir une infographie synthétisant vos éléments clés. Il ne fait aucun doute que les IA génératrices d'images peuvent apporter un impact positif dans la diffusion de vos résultats.

Intégrer ces limites en fonction des étapes de ses travaux et afficher son utilisation en toute transparence, toujours sous condition de garantie humaine, s'avère crucial.



**Journées imprévisibles.
Soutien inébranlable.**

Découvrez l'expérience RAD+ et dirigez avec soin.

Discussion

L'IA est un atout indéniable à la rédaction scientifique pour lever certains freins et augmenter la qualité des écrits. Il n'a pas été retrouvé d'articles dédiés à certaines spécificités des MEM français. De même, des évaluations globales de l'utilisation de l'ensemble de ces outils ne semblent pas avoir été publiées.

L'IA peut vous critiquer lors de phase de montage de votre approche vis-à-vis de l'éthique. Mais c'est surtout les auteurs qui doivent être critiqués vis-à-vis de l'usage éthique de l'IA. Son usage doit encore être évalué.

Son utilisation doit être transparente pour le lecteur. Certaines revues émettent des recommandations spécifiques sur l'utilisation de l'IA¹¹. Toutes ces revues autorisent l'utilisation de l'IA dans ces limites déclaratives et imposent aux auteurs d'assumer l'entière responsabilité de leurs travaux soumis et publiés. Ces conditions sont précisément décrites dans les recommandations pour la soumission à des revues médicales ICMJE¹².

Conclusion

L'intelligence artificielle révolutionne la manière de concevoir, lire, écrire et diffuser ses travaux. Elle permet d'augmenter la qualité et la rapidité de l'écriture scientifique. Un point critique est que les IA génératrices peuvent commettre de graves erreurs, ce qui peut entraîner une mauvaise intégrité scientifique, mais aussi constituer du plagiat. Intégrer ces limites en fonction des étapes de ses travaux et afficher son utilisation en toute transparence, toujours sous condition de garantie humaine, s'avère crucial.

À plus long terme, l'intégration de l'IA dans la rédaction scientifique permettra d'augmenter son expérience personnelle dans ce type d'exercice, et aussi d'augmenter en compétence. La disponibilité instantanée permet d'accélérer et d'améliorer cet apprentissage et se rapproche d'un tutorat algorithmique, à condition que l'étudiant conserve un esprit critique et une indépendance à ce type d'outils.

Déclaration de l'utilisation de l'intelligence artificielle

L'auteur déclare ne pas avoir utilisé d'IA génératrice dans l'étape de la conception de l'idée, de l'écriture. Des technologies à assistance IA ont été utilisées pour la rédaction de l'abstract, la recherche bibliographique, l'écriture et la relecture sous garantie humaine. L'auteur est responsable du contenu de cet écrit.

REMERCIEMENTS

Merci à l'AFPPE et à M. Davy pour le partage de l'article.

RÉFÉRENCES

- 1 – Margat A et al. *La Investigación Enfermera en Francia*, Index de Enfermería, 2023 ; 32(1) : e32832f.
- 2 – Comité des travaux historiques et scientifiques. *Association française du personnel paramédical d'électroradiologie*, CTHS [En ligne]. [Consulté le 27/11/2024].
- 3 – Wang H et al. *Scientific discovery in the age of artificial intelligence*, Nature, 2023 août ; 620(7972) : 4760.
- 4 – Shorey S et al. *A scoping review of ChatGPT's role in healthcare education and research*, Nurse Educ Today, 2024 Apr ; 135 : 106121.
- 5 – Buriak JM et al. *Best Practices for Using AI When Writing Scientific Manuscripts*, ACS Nano, 2023 Feb ; 17(5) : 4091-4093.
- 6 – Khalifa M, Albadawy M. *Using artificial intelligence in academic writing and research: An essential productivity tool*, Comput Methods Programs Biomed Update, 2024 Jan ; 5 : 10014.

- 7 – Hammad M. *The Impact of Artificial Intelligence (AI) Programs on Writing Scientific Research*, Ann Biomed Eng, 2023 Mar ; 51(3) : 459-60.

- 8 – Parker JL et al. *ChatGPT for Automated Writing Evaluation in Scholarly Writing Instruction*, J Nurs Educ, 2023 Dec ; 62(12) : 721-7.

- 9 – Lin Z. *Techniques for supercharging academic writing with generative AI*, Nature Biomedical Engineering, 2024 Mar.

- 10 – Nazari N et al. *Application of Artificial Intelligence powered digital writing assistant in higher education: randomized controlled trial*, Heliyon, 2021 May ; 7(5) : e07.

- 11 – Inam M et al. *A review of top cardiology and cardiovascular medicine journal guidelines regarding the use of generative artificial intelligence tools in scientific writing*, Curr Probl Cardiol, 2024 Mar ; 49(3) : 102387.

- 12 – International Committee of Medical Journal Editors. *Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly work in Medical Journals*, ICMJE [En ligne]. 2024 Jan [Consulté le 27/11/2024].

Coup de cœur pour la quantification du débit sanguin myocardique

« GO WITH THE FLOW » : QUAND LA QUANTIFICATION
ÉCLAIRE LA PERFUSION MYOCARDIQUE



Caroline
D'Oliviera-Sousa
t.i.m.

Coordonnatrice en
recherche clinique

Institut de Cardiologie
de Montréal

Au terme de la lecture de cet article, votre cœur, puissante pompe acheminant le sang d'une extrémité à l'autre de votre corps, aura battu quelques centaines de fois. Pour effectuer son travail de façon optimale, le muscle du cœur doit lui-même être également adéquatement perfusé en sang. C'est ici qu'entrent en jeu les artères coronaires et le débit sanguin myocardique.

Pour illustrer cela, permettez-moi une comparaison à saveur jardinière... Supposons que le muscle du cœur, le myocarde, est un jardin, les artères coronaires, elles, seront les boyaux d'arrosage, et le débit sanguin myocardique est l'eau à l'intérieur des boyaux. Tant que le jardin est au repos, un arrosage lent et régulier suffit... Mais si l'on souhaite qu'il se développe en un luxuriant jardin tapissé d'une pelouse digne d'un terrain de golf (comme lors d'un effort physique soutenu), évidemment, la demande en eau augmentera, et l'arrosage devra être plus abondant. Si les boyaux d'arrosage sont obstrués ou abîmés, l'eau n'atteindra pas toute la superficie du jardin, et certaines zones se dessècheront. Similairement, lorsque le débit sanguin myocardique dans les artères coronaires est réduit, le myocarde ne reçoit pas assez d'oxygène et de nutriments. C'est le cas en maladie coronarienne athérosclérotique (MCAS). La présence de plaques athérosclérotiques entraîne une obstruction

progressive des coronaires, menant à une diminution du débit coronarien, provoquant des douleurs angineuses pouvant culminer en un infarctus.

La quantification absolue du débit sanguin myocardique s'exprime en unités de millilitres par minutes par grammes de tissu (ml/min/g) et fluctue en fonction des besoins du myocarde. Comme le myocarde extrait déjà de manière maximale l'oxygène du sang au repos, seule une augmentation du débit cardiaque permet de combler une demande accrue en oxygène. Il est possible de le mesurer avec diverses modalités d'imagerie comme la résonance magnétique, l'échographie ou encore la tomодensitométrie^{1, 2, 3}. Le *gold standard*, qui est la TEP avec ¹⁵O-H₂O, requiert un cyclotron sur place et à proximité de la caméra⁴. Compte tenu de ces contraintes, la tomographie par émission de positrons au Rubidium-82 s'impose comme une solution de rechange judicieuse, étant plus pratique et répandue, ce qui en fait une méthode de choix.

Au cours des prochains paragraphes, nous aborderons la quantification du débit sanguin myocardique et ses applications. Dans un premier temps, nous verrons comment l'analyse des flots (autre terme pour désigner le débit sanguin myocardique) permet d'améliorer le diagnostic de la MCAS, de l'angine microvasculaire ainsi que dans

la vasculopathie du greffon cardiaque. Dans un deuxième temps, nous présenterons trois exemples dans lesquels les mesures du débit sanguin myocardique ont été utilisées en contexte de recherche clinique.

La quantification au cœur du diagnostic clinique

Avant d'aborder les applications cliniques, voyons brièvement comment sont obtenues les valeurs de débit sanguin myocardique. Sont nécessaires deux régions d'intérêt tracées sur l'acquisition dynamique TEP effectuées au moment même où le radiotraceur est injecté. La première, située à l'intérieur de la cavité du ventricule gauche, permet de mesurer la concentration de Rubidium-82 dans le sang, et la seconde, englobant les parois du même ventricule, mesure l'activité dans le tissu myocardique (**figure 1**). Cette opération est effectuée tant sur les images dynamiques au repos que sur les clichés sous stress pharmacologique (dans la routine clinique à l'ICM, nous utilisons couramment le dipyridamole et la dobutamine au besoin). Le ratio entre les flots sous stress et ceux au repos correspond à la réserve myocardique, c'est-à-dire la capacité des artères coronaires à augmenter leur flot en réponse à une vasodilatation maximale.

Le fait de pouvoir obtenir des valeurs quantitatives constitue un gain indéniable entre autres face à des études de perfusion myocardique traditionnelles avec marqueurs technétiés équivoques ou sous-optimaux (**figure 2**) ou encore là où l'on soupçonne une atteinte pluritronculaire (**figure 3**). En effet, dans les études de perfusion myocardique traditionnelles effectuées avec marqueurs technétiés,

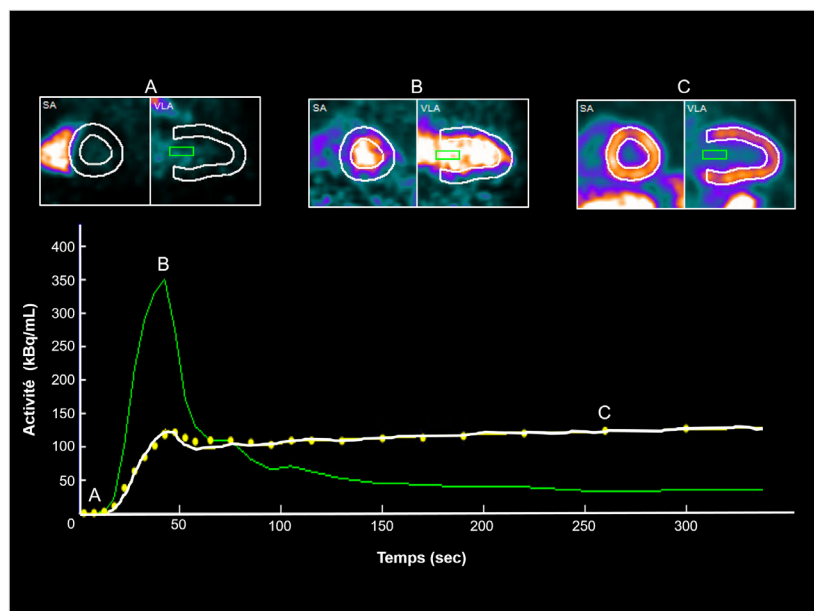


Figure 1 : En A, on note le passage du bolus de Rubidium-82 à l'intérieur de la cavité du ventricule droit. En B, on voit l'arrivée du bolus à l'intérieur de la cavité du ventricule gauche qui correspond au pic d'activité sur la courbe de la ROI associée. Finalement, le radiotraceur se fixe dans le myocarde (C). Les points jaunes correspondent aux 26 images temporelles qui composent l'acquisition dynamique TEP.

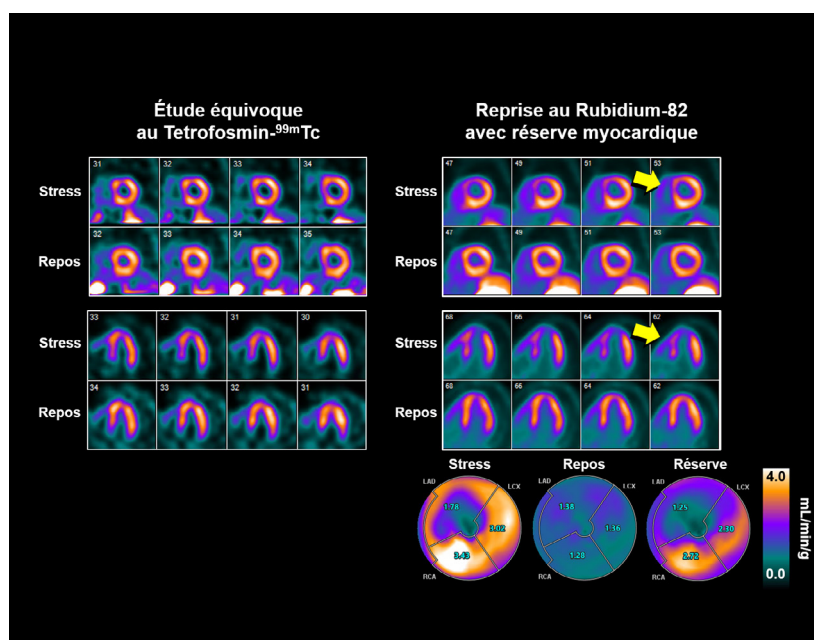


Figure 2 : Ischémie confirmée à la suite du Rubidium-82 où l'étude des débits sanguins myocardiques indique la présence de vol coronarien dans le territoire de l'artère interventriculaire antérieure. À la suite de sa visite en médecine nucléaire, cette patiente bénéficiera d'une angioplastie avec l'implantation d'un stent dans l'IVA.

la perfusion étant déterminée en comparant les parois du myocarde les unes avec les autres, l'ischémie « balancée » peut être sous-estimée, voire manquée complètement, rendant le diagnostic moins fiable et propice à de faux négatifs.

De plus, avoir une valeur quantitative de débit sanguin nous confirme aussi si la vasodilatation provoquée par notre test a été suffisante ou non. C'est-à-dire si le stress était un « vrai » stress. Effectivement, si la valeur obtenue au stress reste sensiblement la même qu'au repos, les valeurs de débit sanguin, tel un lanceur d'alerte, nous mettent en garde contre une réponse sous-optimale au vasodilatateur pharmacologique et donc face à un examen potentiellement non diagnostique. Non seulement est-il possible que le patient ait consommé de la caféine, sciemment ou non, mais la non-réponse au vasodilatateur est aussi une possibilité. Il arrive parfois que les patients métabolisent la caféine très lentement, comme dans les cas d'insuffisance hépatique, par exemple⁵. Dans ces cas, nous favoriserons un autre agent pharmacologique pour induire une augmentation des flots, la dobutamine, qui permettra d'obtenir un examen diagnostique (**figure 4**).

Petits vaisseaux, grands problèmes

Pour aborder la maladie microvasculaire, revenons un instant à notre illustration du jardin et des boyaux d'arrosage (macrocirculation) présentée en début d'article... Si les boyaux d'arrosage semblent intacts et ne montrent aucun signe d'obstruction, comment expliquer un jardin en souffrance ? Cela illustre ce qui se passe dans les cas d'ANOCA (*Angina with Non-Obstructive Coronary Arteries*).

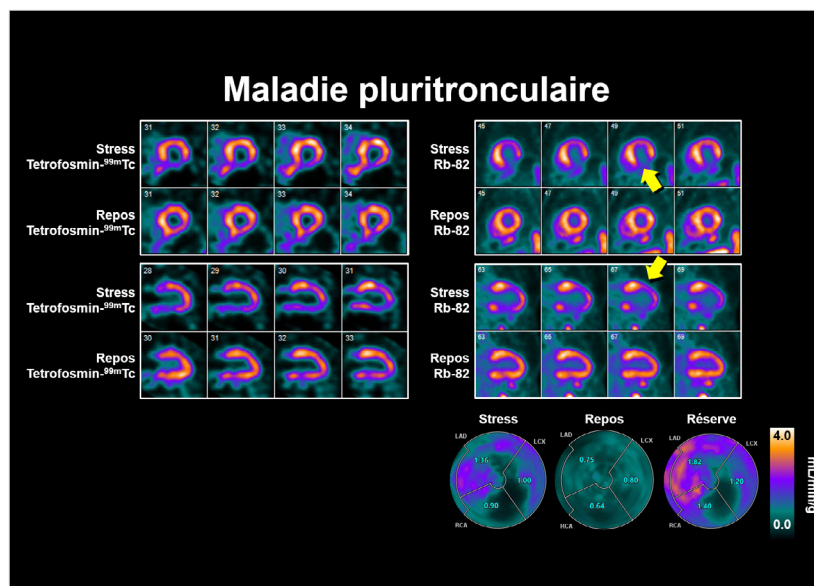


Figure 3 : Étude de perfusion myocardique sous-optimale reprise au Rubidium-82 avec débits sanguins myocardiques globalement abaissés et compatible avec la présence d'une maladie coronarienne pluritronculaire confirmée à la coronarographie.

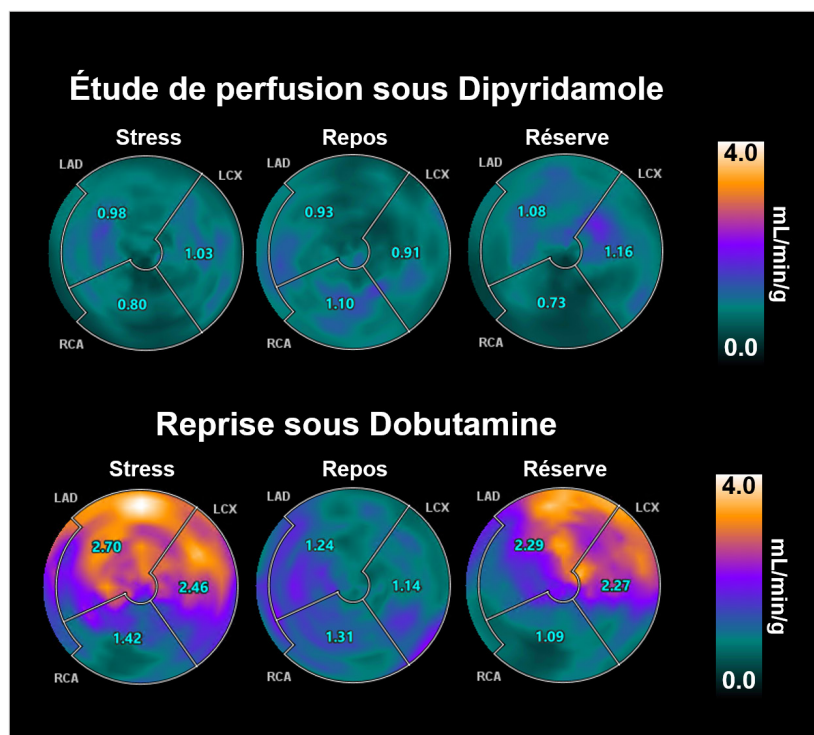


Figure 4 : Étude de perfusion myocardique sous dipyridamole avec MFR = 1,07. Face à une réserve nettement abaissée, on suspecte une non-réponse au stress pharmacologique. La reprise sous dobutamine démontre une maladie coronarienne obstructive et confirme la non-réponse au dipyridamole.

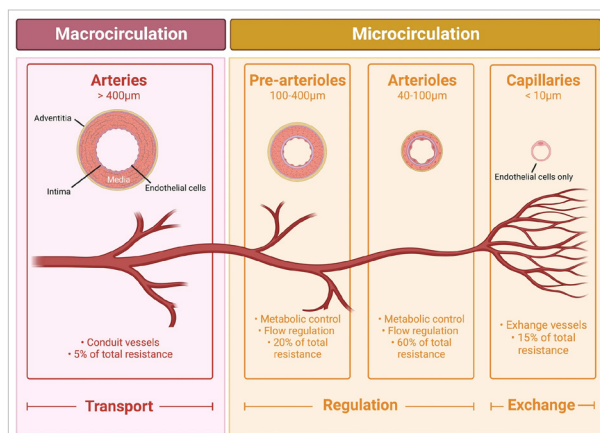


Figure 5 : Macrocirculation, microcirculation et leurs composants.

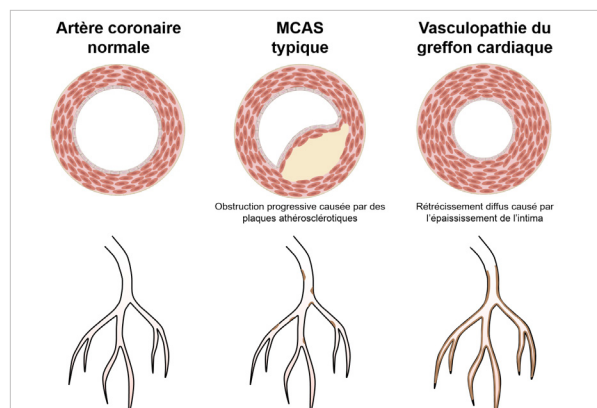


Figure 6 : Contrairement à la MCAS typique et ses lésions focales, la vasculopathie du greffon cardiaque cause un rétrécissement progressif des vaisseaux.

Ces patients souffrent d'angine, mais sans évidence d'obstruction significative des artères coronaires épicaudiques à la coronarographie. Dans la maladie microvasculaire, l'atteinte se situe en aval des coronaires, dans de très petits vaisseaux sanguins : pré-artérioles, artérioles et capillaires (**figure 5**). Dans ces cas, les images démontreront une perfusion normale, car les artères coronaires épicaudiques ne sont pas obstruées, mais la réserve myocardique, elle, sera globalement abaissée. C'est pourquoi, ici encore, en permettant la détection de la dysfonction microvasculaire, la quantification du débit sanguin myocardique constitue un avantage majeur et joue un rôle clé dans l'investigation des patients chez qui cette maladie est suspectée, avec, en prime, le potentiel de suivre la réponse au traitement⁶.

La vasculopathie du greffon cardiaque, forme diffuse et accélérée de MCAS affectant également les petits vaisseaux (**figure 6**), est une complication fréquente post-greffe et représente malheureusement la principale cause de rejet et de mortalité. Bien qu'il s'agisse d'une indication très nichée, chaque semaine, le service de médecine nucléaire de l'institut de Cardiologie de Montréal accueille des patients ayant subi une greffe cardiaque, une patientèle nécessitant un suivi spécialisé. Le caractère diffus de la maladie rend difficiles son diagnostic et son suivi^{7,8}. Un diagnostic précoce est d'autant plus important pour pouvoir ajuster le traitement en fonction de l'évolution de la maladie. À cet effet, ces dernières années, plusieurs études ont démontré que le débit sanguin myocardique en TEP permet le dépistage précoce de la vasculopathie du greffon de manière non invasive et s'avère un

outil utile de suivi chez les patients greffés cardiaques⁹. La littérature émergente tend à démontrer que l'utilisation de la TEP permet d'éviter un grand nombre de coronarographies invasives chez cette population où la prévalence d'insuffisance rénale est importante.

Faire battre le cœur de la recherche

La quantification du débit sanguin myocardique joue un rôle clé en clinique, nous l'avons vu. Mais qu'en est-il en recherche ? Combinée à la courte demi-vie du Rubidium-82 qui permet plusieurs acquisitions d'images en peu de temps, cela convient parfaitement aux études avec mesures répétées et à celles en chassé-croisé (design d'étude où les participants sont leur propre contrôle, ils sont comparés à eux-mêmes). En effet, il peut s'avérer fort intéressant pour évaluer les effets d'un stimulus sur le débit sanguin myocardique ou encore pour voir les effets d'une intervention sur la fonction endothéliale d'un individu. Mais voyons tout d'abord son application dans le cadre d'un protocole visant à faciliter le diagnostic de l'angine vasospastique de manière non invasive.

Quand le cœur se serre

L'angine vasospastique, anciennement connue sous le nom d'angine de Prinzmetal, est un membre du groupe de maladies « NOCA » (*Non Obstructed Coronary Arteries*). Cette angine est causée par des spasmes des artères coronaires. Ce rétrécissement temporaire des vaisseaux sanguins diminue l'apport en oxygène au myocarde et peut provoquer des douleurs intenses à la poitrine. Présentement, le *gold standard* pour son

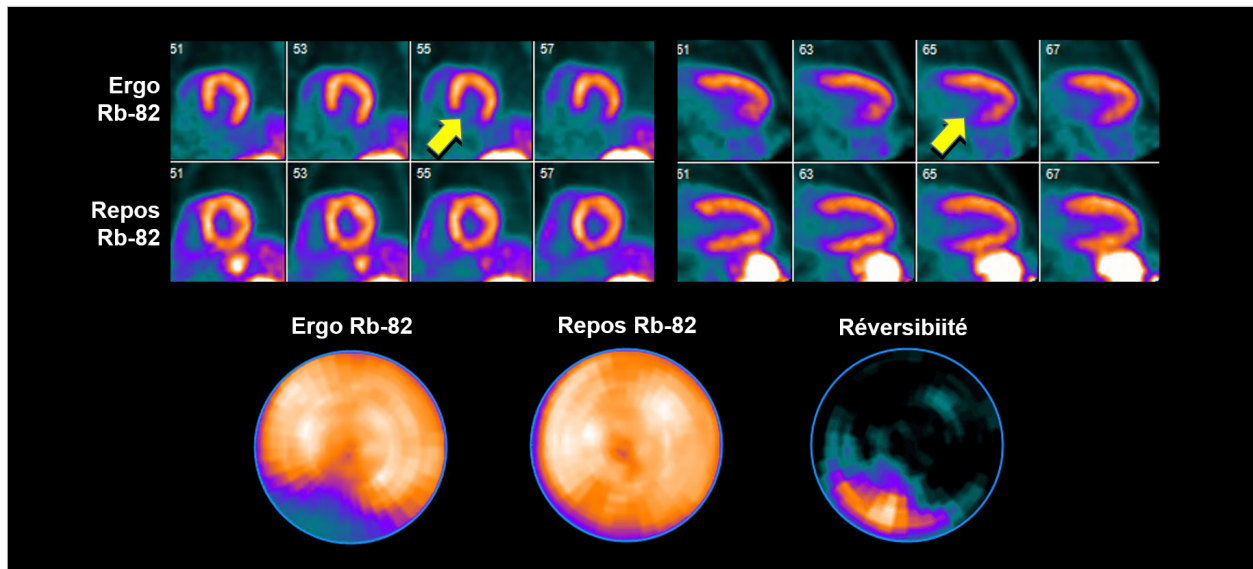


Figure 7 : Déficit perfusionnel induit par l'administration d'ergonovine intraveineuse chez un patient souffrant d'angine vasospastique, compatible avec la présence d'un vasospasme de la coronaire droite.

diagnostic est le test de vasoréactivité lors d'une coronarographie. En somme, cela consiste en l'administration intracoronaire d'ergonovine ou d'acétylcholine dans le but de provoquer un spasme. Toutefois, en plus d'être invasifs, ces tests sont malheureusement rarement réalisés, laissant de nombreux patients dans l'incertitude, sans diagnostic clair ni traitement adapté, et avec une qualité de vie grandement diminuée¹⁰. L'objectif de cette étude est de développer un protocole expérimental d'imagerie TEP au Rubidium-82 avec administration d'ergonovine intraveineuse (figure 7), où le débit sanguin myocardique est quantifié à chacune des quatre étapes. La quantification des flots pourrait permettre le diagnostic de l'angor vasospastique microvasculaire, une entité difficile à diagnostiquer sans outils quantitatifs. Ceci pourrait éventuellement mener à une nouvelle technique d'imagerie non invasive pour

diagnostiquer l'angine vasospastique, tout en accélérant et en facilitant la prise en charge des patients aux prises avec cette maladie incapacitante.

Chaud au cœur

Les mécanismes influençant le débit sanguin myocardique ne se limitent pas aux maladies cardiovasculaires; en effet, des facteurs externes, comme l'exposition à la chaleur peuvent également l'affecter. L'objectif de l'étude « TEP-Chaleur » était de caractériser l'augmentation du débit sanguin myocardique lors de l'exposition à la chaleur. Trois groupes de participants ont été recrutés dans cette captivante étude: des jeunes en santé (18-40 ans), des personnes âgées en santé (60-80 ans) et des personnes âgées (60-80 ans) avec une maladie coronarienne stable. Après une

**Fier assureur
des membres de l'Ordre
depuis plus de 35 ans**

beneva

1 800 644-0607
beneva.ca/otimroepmq



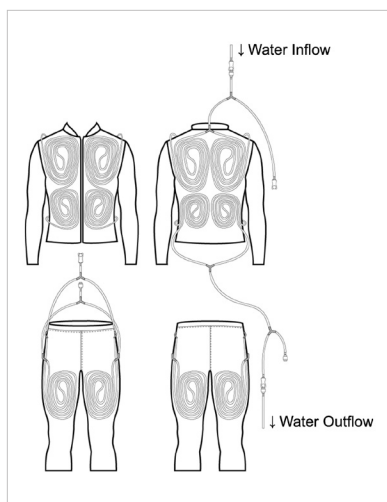


Figure 8 : Combinaison revêtue par les participants du projet TEP-Chaleur. La veste et le pantalon étaient connectés à des bains d'eau à température contrôlée.



Figure 9 : Photo utilisée dans le cadre du projet SUPPER.

première série d'images de base, la quantification du débit sanguin myocardique a été mesurée à la suite d'une exposition à la chaleur (**figure 8**) engendrant des augmentations de la température interne du corps de 0,5°C, 1,0°C et 1,5°C. Nous avons observé une augmentation du débit sanguin myocardique en fonction de l'augmentation de la température interne dans chacun des groupes, permettant de démontrer et de quantifier par le fait même la charge additionnelle induite par la canicule sur le cœur. Dans les deux groupes en santé, aucune évidence d'ischémie

induite par la chaleur n'a été observée. Toutefois, de l'ischémie a été observée chez sept participants (environ 35 %) du groupe MCAS, malgré l'absence de symptômes d'angine¹¹.

Malbouffe et haut-le-cœur

La malbouffe (**figure 9**) est souvent montrée du doigt en raison de ses effets néfastes sur la santé cardiovasculaire. L'objectif du projet SUPPER, étude en chassé-croisé, était d'évaluer les effets d'un repas ultra-transformé sur la fonction endothéliale myocardique. Dans cette étude, l'ordre dans lequel les participants consommaient les repas était aléatoire, mais la moitié des participants ont commencé par le repas ultra-transformé (ingrédients faisant partie du groupe 4 dans la classification NOVA), tandis que l'autre moitié a débuté par le repas méditerranéen avant de passer à l'autre repas. Mais quel est le lien avec le débit sanguin myocardique ? En fait, la fonction endothéliale et le débit sanguin myocardique sont interconnectés, car la fonction endothéliale myocardique joue un rôle important

La quantification du débit sanguin myocardique combinée à la courte demi-vie du Rubidium-82 convient parfaitement aux études avec mesures répétées et à celles en chassé-croisé.

dans la régulation du débit sanguin. Les vaisseaux sanguins sont tapissés d'une fine couche de cellules, appelée endothélium. Un endothélium en santé qui fonctionne normalement agit comme un contrôleur de circulation qui veille à ce que celle-ci soit fluide, en régulant la vasodilatation et la vasoconstriction. Un endothélium altéré contribue au développement de la MCAS. Les résultats de cette étude, pas encore publiés au moment d'écrire ces lignes, suggèrent que les niveaux endogènes d'adénosine pourraient potentiellement médier certains effets néfastes de la nourriture ultra-transformée.

Pour en avoir le cœur net...

En conclusion, de la base des artères coronaires jusqu'aux extrémités de leurs capillaires, quantitative

et non invasive, la mesure du débit sanguin myocardique bonifie le diagnostic clinique et s'impose comme un précieux outil de dépistage et de prise en charge. Propice aux mesures répétées, la quantification du débit sanguin myocardique se marie à merveille aux études en chassé-croisé pour évaluer les effets d'un stimulus ou d'une intervention. Au-delà de toutes ces avancées, l'application de cette mesure, quoiqu'à la base destinée au domaine cardiovasculaire, a le potentiel prometteur d'ouvrir de nouvelles avenues diagnostiques allant jusqu'à explorer la perfusion rénale. Nous sommes encore bien loin d'avoir fait le tour du jardin...

RÉFÉRENCES

- 1 – Møller, M. B., Hasbak, P., Linde, J. J., Sigvardsen, P. E., Køber, L. V. et Kofoed, K. F. (2023), « *Quantification of myocardial blood flow using dynamic myocardial CT perfusion compared with 82Rb PET* », *Journal of cardiovascular computed tomography* 17(3), 185-191.
- 2 – Waller, A. H., Blankstein, R., Kwong, R. Y. et Di Carli, M. F. (2014), « *Myocardial blood flow quantification for evaluation of coronary artery disease by positron emission tomography, cardiac magnetic resonance imaging, and computed tomography* », *Current cardiology reports* 16(5), 483.
- 3 – Wei, K., Jayaweera, A. R., Firoozan, S., Linka, A., Skyba, D. M. et Kaul, S. (1998), « *Quantification of myocardial blood flow with ultrasound-induced destruction of microbubbles administered as a constant venous infusion* », *Circulation* 97(5), 473-483.
- 4 – Manabe, O., Naya, M., Aikawa, T. et Yoshinaga, K. (2019), « *15O-labeled Water is the Best Myocardial Blood Flow Tracer for Precise MBF Quantification* », *Annals of Nuclear Cardiology*, doi: 10.17996/anc.18-00064.
- 5 – Pelletier-Galarneau, M. (2024), « *Liver failure and myocardial perfusion imaging: Wake up and smell the coffee* », *Journal of nuclear cardiology: official publication of the American Society of Nuclear Cardiology* 38, 101904.
- 6 – Pelletier-Galarneau, M. et Dilsizian, V. (2020), « *Microvascular Angina Diagnosed by Absolute PET Myocardial Blood Flow Quantification* », *Current cardiology reports* 22(2), 9.
- 7 – Chih, S., Wiefels, C. C. et Beanlands, R. S. B. (2021), « *PET Assessment of Cardiac Allograft Vasculopathy* », *Seminars in nuclear medicine* 51(4), 349-356.
- 8 – Mc Ardle, B. A., Davies, R. A., Chen, L., Small, G. R., Ruddy, T. D., Dwivedi, G., Yam, Y., Haddad, H., Mielniczuk,

L. M., Stadnick, E., Hessian, R., Guo, A., Beanlands, R. S., deKemp, R. A. et Chow, B. J. (2014), « *Prognostic value of rubidium-82 positron emission tomography in patients after heart transplant* », *Circulation. Cardiovascular imaging* 7(6), 930-937.

9 – Feher, A. et Miller, E. J. (2022), « *PET Myocardial Blood Flow for Post-transplant Surveillance and Cardiac Allograft Vasculopathy in Heart Transplant Recipients* », *Current cardiology reports* 24(12), 1865-1871.

10 – Jolicœur, E. M. et Pelletier-Galarneau, M. (2021), « *Rubidium-82 Positron Emission Tomography with Intravenous Ergonovine to Diagnose Vasospastic Angina* », *The Canadian journal of cardiology* 37(10), 1661-1664.

10 – Barry, H., Iglesias-Grau, J., Chaseling, G. K., Paul, J., Gosselin, C., D'Oliviera-Sousa, C., Juneau, M., Harel, F., Kaiser, D., Pelletier-Galarneau, M. et Gagnon, D. (2024), « *The Effect of Heat Exposure on Myocardial Blood Flow and Cardiovascular Function* », *Annals of internal medicine* 177(7), 901-910.

FIGURES

1, 2, 3, 4 et 7 – Banque d'images créées par l'auteur.

5 – Tirée de : Merdji, H., Levy, B., Jung, C. et coll., « *Microcirculatory dysfunction in cardiogenic shock* », *Ann. Intensive Care* 13(38) (2023). Reproduite avec permission.

6 – Créée par l'auteur et Vincent Finnerty.

8 – Tirée de Ko, Y., Seol, SH., Kang, J. et coll., « *Adaptive changes in physiological and perceptual responses during 10-day heat acclimation training using a water-perfused suit* », *J Physiol Anthropol* 39(10) (2020). Reproduite avec permission.

9 – Photo prise par l'auteur.

Innovation technologique pour la médecine nucléaire : la Veriton de Spectrum Dynamics Medical

L'IDÉE INNOVATRICE DE LA CAMÉRA VERITON EST L'UTILISATION
DE DOUZE DÉTECTEURS SEMI-CONDUCTEURS

La médecine nucléaire est en constante évolution, présentant d'innombrables innovations, tant sur le plan technologique de l'imagerie que sur celui des nouveaux traitements. Or, avec la Veriton spect/ct de Spectrum Dynamics Medical (**figure 1 et 2**), il est maintenant possible d'effectuer une pancorporelle 3D couvrant la tête aux tibias proximaux dans un délai de 20 minutes pour une scintigraphie osseuse. Cette caméra offre de nombreux avantages quant à l'efficacité de mise en image, mais aussi à la résolution spatiale, avec ses douze têtes détectrices venant couvrir le patient.

Depuis sa mise en fonction au CHUM en décembre 2023, la caméra a principalement été utilisée pour les scintigraphies osseuses (**figure 3**). Cela a permis de réduire la liste d'attente de celles-ci. Plus récemment, elle a également servi à effectuer des scintigraphies myocardiques au myoview-Tc99m protocole deux jours.

Cet article couvrira les différentes caractéristiques physiques de la Veriton et de ses douze têtes détectrices, du « swivel » pour couvrir les angles morts des détecteurs, du déroulement des étapes pour la scintigraphie osseuse et pour la scintigraphie myocardique (tel qu'exécutée dans les protocoles du CHUM). Il sera également question de la perspective des médecins relativement à l'interprétation de ces deux examens effectués par cette nouvelle caméra.

Caractéristiques physiques de l'appareil

En premier lieu, l'idée innovatrice de la caméra Veriton est l'utilisation de douze détecteurs CZT semi-conducteurs couvrant un champ de 360 degrés pour le patient. En effet, chacun de ces détecteurs est muni de collimateurs en tungstène, et ceux-ci font la rotation du patient en pouvant se rétracter ou s'avancer vers lui pour acquérir une image 3D d'un organe ou d'une région anatomique



Étienne Doucet
t.i.m.

Technologue en
médecine nucléaire

Centre Hospitalier
de L'Université de
Montréal (CHUM)

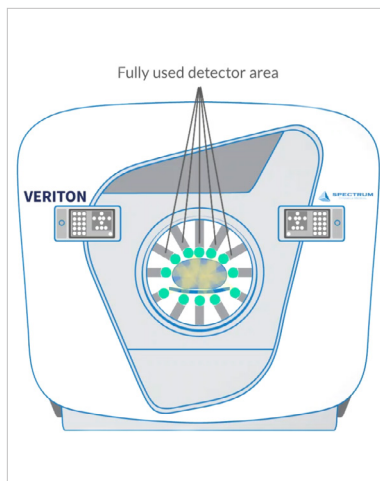


Figure 1 et 2 : Illustrations de la caméra Veriton SPECT selon le site Web spectrum-dynamics.com.

particulière¹. Or, la caméra dispose d'une résolution de 0,625 mm grâce aux détecteurs semi-conducteurs et elle offre notamment une plage de balayage de deux mètres pour offrir une acquisition 3D². La disposition des douze détecteurs couvrant le patient, de plus que les détecteurs semi-conducteurs et la capacité de ceux-ci de se rapprocher en fonction du champ magnétique du patient pour maximiser la distance permettent d'avoir une forte sensibilité et d'améliorer les comptes de la région anatomique convoitée.

Voici une explication du mécanisme de détection du patient par les détecteurs de la part de la physicienne Claire Cohalan, du département de médecine nucléaire au CHUM : « Essentiellement, l'électronique dans le *body contact* crée un petit champ électrique. Notre corps, qui est en quelque sorte un conducteur d'électricité aussi, affecte ce champ électrique, de façon proportionnelle à la distance entre notre corps et la face du couvercle (*body contact*). L'électronique dans le *body contact* peut mesurer la différence dans le champ électrique et s'arrête à une distance prédéterminée de notre corps, qui serait proportionnelle à la différence dans le champ électrique mesuré »³ (figure 4).

De plus, la caméra possède un grand diamètre à l'intérieur de son « *gantry* », avec une étendue de 80 cm, une limite de poids de 500 livres (227 kg) et est munie d'un logiciel (*Low dose Iterative Reconstruction Software*) permettant de réduire la dose donnée au patient pour son exposition aux rayons X pour la correction d'atténuation et la localisation anatomique⁴.

La Veriton est également équipée de quelques algorithmes de traitements qui permettent de corriger le métal qui pourrait être présent sur les images, l'effet de



Figure 3 : Photographie de la caméra Veriton modèle 300 SPECT au département de médecine nucléaire au CHUM.



Figure 4 : Intérieur du patient contact pour un détecteur de Veriton.

volume partiel (PVC), pour la correction d'atténuation (AC) et pour d'autres applications⁵.

Scintigraphie osseuse avec la Veriton, perspectives du technologue et du médecin

Dans un deuxième temps, la Veriton est un très bon outil de travail pour la scintigraphie osseuse, étant donné la très bonne sensibilité de celle-ci grâce aux douze détecteurs semi-conducteurs CZT qui permettent de réduire le temps d'acquisition et la dose injectée. En effet, la caméra permet de couvrir le patient sur les trois dimensions en l'entourant de détecteurs qui, eux, font un effet « *swivel* » pour couvrir les angles morts des détecteurs, étant donné la géométrie de ceux-ci⁶ (**figure 5**).

De plus, les détecteurs se rapprochent le plus près possible du patient et épousent ses contours en fonction du champ magnétique provenant de lui. Quant à la scintigraphie osseuse, elle se déroule selon une série d'étapes. Premièrement, un topogramme (nommé « *localizer* » par Spectrum Dynamics⁷) (**figure 6**) est effectué pour la localisation des champs



Figure 5 : Mouvements des détecteurs de la caméra Veriton SPECT complètement déployée et complètement rétractée.

d'acquisition de la médecine nucléaire et de la localisation du CT à effectuer. Ensuite, l'acquisition du CT est faite en modulant le courant (mA) selon le poids du patient. L'activité injectée au patient est entrée dans le système, car le médecin peut calculer le SUV pour les différentes lésions qu'il pourrait observer sur la photo, et, ensuite, un logiciel d'optimisation nommé le CT BASED OPT⁸ permet d'optimiser la durée de l'acquisition en ajustant la proximité des détecteurs les uns des autres et les mouvements « *swivel* » pour corriger les angles morts des détecteurs. Par la suite, l'acquisition débute pour une durée d'environ 12 minutes pour une scintigraphie osseuse standard telle qu'un cancer de la prostate pour recherche de métastases ou 18 minutes, pour un cancer du poumon avec recherche de métastases osseuses. Vers la fin, on obtient une reconstruction NO PVC de la tomographie 3D du squelette, une reconstruction avec l'algorithme PVC (*partial volume correction*) et une image MVP (*multiviewer panel*)⁹ (**figure 7**).

L'activité injectée au patient est entrée dans le système, car le médecin peut calculer le SUV pour les différentes lésions qu'il pourrait observer sur la photo.



Figure 6 : « Localizer » ou topogramme fait sur Veriton, CHUM.

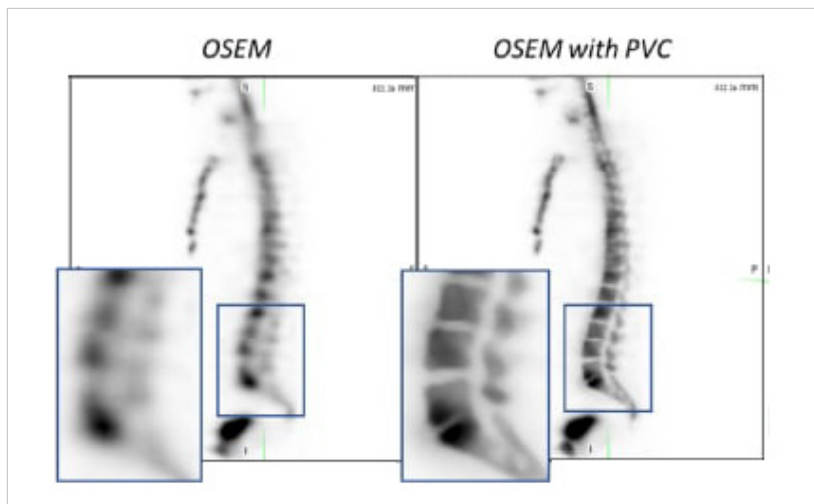


Figure 7 : Scintigraphie osseuse reconstruite sans ajout d'algorithme PVC et avec ajout du PVC.

Le grand avantage de la Veriton pour la scintigraphie osseuse est que l'acquisition est nettement plus courte (20 min vs 45 ou 60 minutes sur une caméra planaire telle qu'une Discovery 670C) et que cela rend l'expérience plus agréable pour le patient. De plus, il n'est pas nécessaire de vérifier le site de la tomographie avec le médecin, car l'ensemble de l'acquisition est une tomographie complète du corps.

Cependant, selon Dr Plouznikoff du CHUM, « l'interprétation s'avère parfois un peu plus difficile. Le logiciel PVC peut parfois corriger excessivement et extrapoler des comptes dans l'os qui pourraient avoir été interprétés comme une lésion osseuse, mais qui s'avèrent ne rien représenter ou ne pas être du tout présents en regardant la reconstruction no PVC »¹⁰. Or, pour contrer cette embûche, il a été décidé de faire une reconstruction NO PVC pour pallier l'erreur statistique qui peut parfois survenir avec la correction PVC (figure 8 et 9).

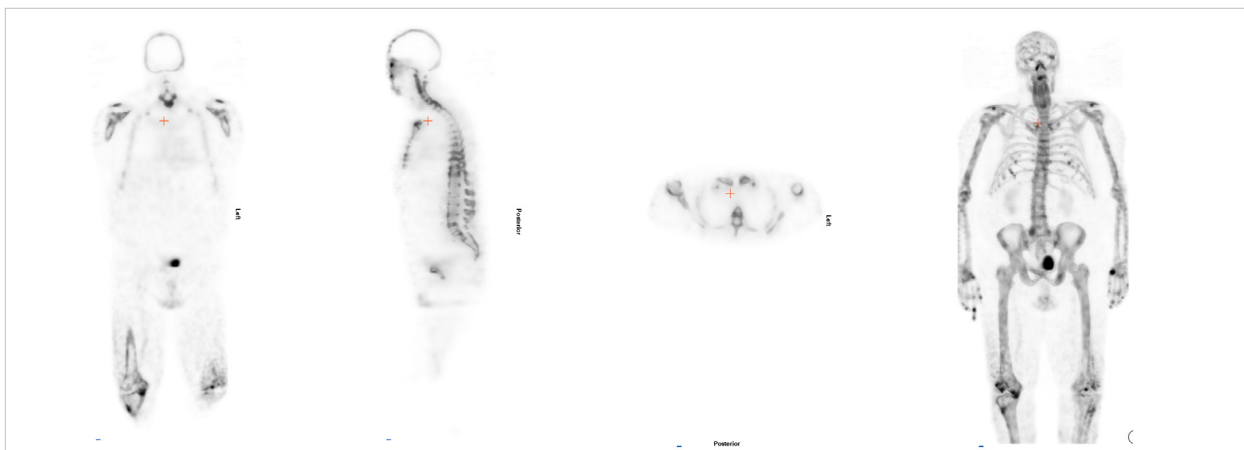


Figure 8 : Tomographie 3d pancorporelle avec algorithme PVC d'une scintigraphie osseuse par la caméra Veriton du CHUM.



Figure 9 : Pseudo planaires pancorporelle (*multi viewer panel*) d'une tomographie 3D d'une scintigraphie osseuse fait sur caméra Veriton, CHUM.

Scintigraphie myocardique protocole deux jours, avec la Veriton

En ce qui a trait à la scintigraphie myocardique, la méthode d'imagerie est sensiblement similaire à celle de la scintigraphie osseuse, sauf à quelques égards. Il faut, en premier lieu, placer le patient les bras en haut selon les lasers pour le centrer sur les trois axes (longueur, largeur et profondeur) afin de bien inclure le cœur. Par la suite, le topogramme est effectué pour mettre en place le champ d'acquisition de médecine nucléaire et la région qui sera examinée pour le CT. On essaie d'éviter d'inclure les bras afin de favoriser la proximité des détecteurs pour éviter la production d'artéfacts, car la caméra est sensible aux mouvements. Ensuite, le mode focus permet d'envoyer un message à la machine pour lui demander de se concentrer sur une région particulière afin de favoriser l'accumulation de comptes rehaussant la sensibilité de l'organe convoité, c'est-à-dire le myocarde. Pour ceci, il y a une petite acquisition nommée « *pre-scan* » offrant une image grossière pour estimer le ratio de comptes provenant du cœur et permettre d'estimer le temps nécessaire pour accumuler 800 000 comptes dans la région définie par l'utilisateur. La durée de l'acquisition se situe généralement entre 4 et 10 minutes. À la fin de l'acquisition, le Data QC vérifiera les mouvements sur le sinogramme et le « *panogram* », et le système demandera de faire une orientation du myocarde afin de standardiser le positionnement du cœur.

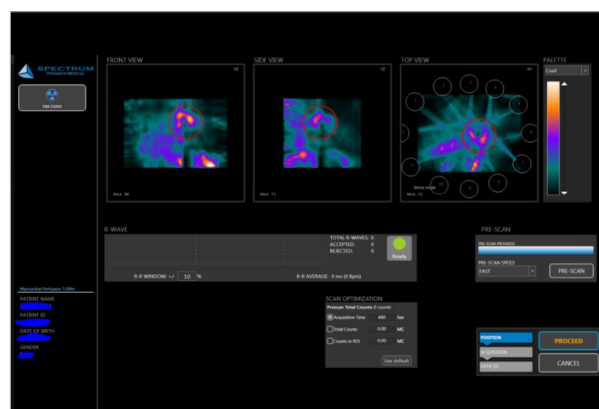


Figure 10 : Mode Focus sur Veriton pour scintigraphie myocardique.

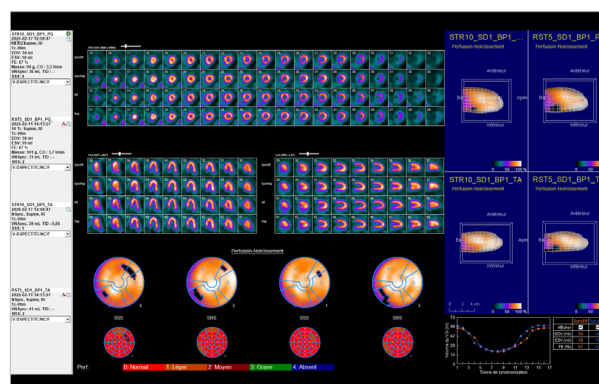


Figure 11 : Traitement sur Hermes 4dm images cardiaque Veriton.

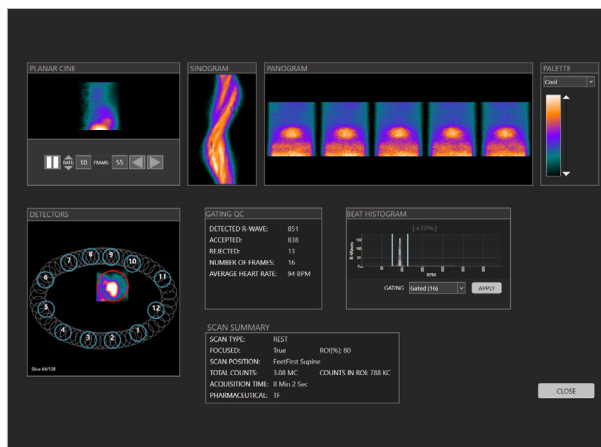


Figure 12 : Data QC repos sur logiciel Veriton.

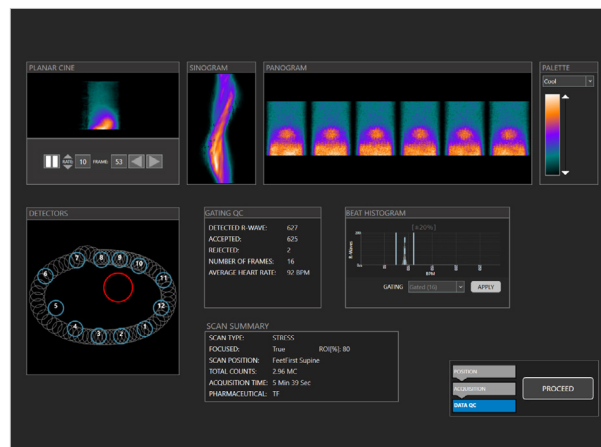


Figure 13 : Data QC effort persantin sur logiciel Veriton.

En somme, la caméra Veriton offre de multiples promesses pour l'avenir de la médecine nucléaire grâce à ses nombreux atouts, mais il ne faut pas négliger l'aspect financier de celle-ci, qui est d'un prix supérieur à un million de dollars. De plus, il faut faire attention aux corrections faites par celle-ci, car elle

pourrait parfois induire à la scintigraphie osseuse de fausses détections de lésions osseuses. Malgré tout, il reste encore beaucoup d'autres applications à vérifier avec ce nouvel outil de travail pour connaître l'étendue des promesses qu'il offre.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier profondément la physicienne du département de médecine nucléaire du CHUM, Claire Cohalan, pour son expertise et la communication de ses connaissances. Je remercie également François Morel, qui travaille pour Spectrum Dynamics Medical, pour les explications sur la machine qui m'ont été offertes, et Dine Badri, spécialiste d'applications de Spectrum Dynamics Medical, pour m'avoir aidé avec la procédure de mise en image de la scintigraphie myocardique protocole deux jours sur la Veriton.

RÉFÉRENCES

- 1 et 6 – *Spectrum Dynamic Medical*, (2021). *Veriton series*.
- 2, 7, 8 et 9 – *VERITON® NM User Manual MAN0050* Rev. G. (2021).
- 3, 4 et 5 – *Claire Cohalan*, Veriton (courriel 20 février 2025).
- 10 – *Dr Plouznikoff*, communication personnelle, 20 février 2025.

FIGURES

- 1 et 2 – *Spectrum Dynamic Medical*, Veriton series, 2021.
- 3 – Banque personnelle du CHUM, (2024).
- 4 – Banque personnelle du CHUM, (2023).
- 5 – *Spectrum Dynamic Medical*, Veriton series, (2021).
- 6 – *Localizer CHUM*, capture d'écran, (2025).
- 7 – Tomographie osseuse 3D, capture d'écran, (2025).
- 8 – MVP (*multiviewer panel*) d'une tomographie pancorporelle 3D, capture d'écran, (2025).
- 9 – *VERITON® NM User Manual MAN0050* Rev. G. (2021).
- 10 – Traitement sur Hermes 4dm images cardiaque Veriton, capture d'écran, (2025).
- 11 – Data QC repos sur logiciel Veriton, capture d'écran, (2025).
- 12 – Data QC effort persantin sur logiciel Veriton, capture d'écran, (2025).

La robotique et l'imagerie médicale : une autre avancée dans notre domaine

L'évolution ne cesse de changer notre pratique, d'implanter de nouvelles façons de travailler et de présenter le meilleur service possible aux patients. Après la numérisation, l'intelligence artificielle (IA), voici maintenant un autre terme qui envahit « la cour » des technologies en imagerie médicale : la robotique !

La première pensée qui nous frôle l'esprit, c'est celle d'un robot qui a la silhouette d'un être humain et qui communique de façon autonome. Ce robot humanoïde n'est qu'un exemple d'une machine-robot. Selon Wikipédia, « la robotique est l'ensemble des techniques permettant la conception et la réalisation de machines automatiques ou de robots. Par extension, la robotique fait aussi référence à l'ensemble des domaines scientifiques et industriels en rapport avec la conception et la réalisation de robots. » Ce sont, donc, **des machines qui interviennent pour réaliser automatiquement des tâches habituellement faites par des humains**. La robotique était déjà appliquée dans divers domaines (industriel, militaire, aérospatial...). Elle trouve actuellement sa place dans le diagnostic et le traitement en radiologie. Ainsi, nous parlerons, dans cet article, des applications de la robotique dans l'imagerie médicale, de son potentiel apport pour notre métier et de la relation technologue/robot.

La révolution du robot en médecine

Les premières utilisations des machines-robots en médecine étaient consacrées à la chirurgie à distance et étaient le fait de la NASA et de l'agence de défense américaine, pour ses soldats. Le premier robot médical utilisé était ROBODOC. Il s'agissait d'un robot de forage automatique qui insérerait des implants dans les arthroplasties orthopédiques. Le plus connu des systèmes robotiques chirurgicaux est Da Vinci. Avec ce système, le chirurgien utilise un récepteur à distance pour manipuler les bras du robot et les instruments chirurgicaux. Le recours aux bras-robots en chirurgie vient, aussi, surmonter le problème des tremblements de mains des chirurgiens au cours des biopsies du cerveau ou apporter des précisions nécessaires au cours des chirurgies de la prostate. Le robot aide les chirurgiens à réaliser même les procédures les plus complexes et les plus délicates, grâce à de très petites incisions avec une précision, un contrôle, une visibilité et une amplitude de mouvement supérieurs, ce qui entraîne moins de complications et de meilleurs résultats pour les patients (figure 1).

Depuis, des centaines de milliers de prostatectomies et d'hystérectomies ont été réalisées dans le monde à l'aide de systèmes robotisés. Jusqu'à présent, grâce à la robotique, il y a moins de douleurs postopératoires



Mohamed Khelifi
t.i.m. (RD)

CIUSSS de l'Ouest-
de-l'Île-de-Montréal –
Hôpital de Lasalle

et moins de risques d'infection, ainsi que des cicatrices minimales, une diminution des pertes sanguines, des temps de récupération plus rapides, des séjours hospitaliers plus courts et des retours plus rapides des patients aux activités normales.

Qu'est-ce qu'un robot ?

« Un robot est un dispositif mécatronique conçu pour accomplir automatiquement des tâches imitant ou reproduisant, dans un domaine précis, des actions humaines. La conception de ces systèmes est l'objet d'une discipline scientifique, branche de l'automatisme nommée robotique. »

Le robot n'est pas un humain, mais il peut travailler comme un humain ! C'est « un manipulateur multifonctionnel reprogrammable conçu pour déplacer des matériaux, des pièces, des outils ou d'autres dispositifs spécialisés à travers divers mouvements programmés pour l'exécution d'une variété de tâches ».

Du point de vue de son application, il existe des robots mobiles dont le déplacement dans l'espace est de type 1D, 2D, 3D (par exemple : robot aspirateur à la maison, bras robotisés, drones). Les robots manipulateurs sont ceux qui prennent et déplacent des objets dans l'espace 2D ou 3D. Souvent, les robots ont des détecteurs de localisation, comme les caméras et une capacité télémétrique de balayage (laser) pour détecter les objets. Une caractéristique sensorielle tactile est aussi présente, qui permet de distinguer l'entourage.

L'apport pour notre métier

En radio-oncologie

Les technologues utilisent déjà l'accélérateur CyberKnife (*CyberKnife Robotic Radiosurgery System*). C'est un système de radiothérapie stéréotaxique robotisée, commercialisé par la société Accuray, qui permet de traiter des tumeurs dans tout le corps, en préservant au maximum les tissus sains environnants. Le traitement consiste en l'administration à la tumeur d'une dose élevée de rayons sous forme de faisceaux, avec une grande précision.

Avec sa haute précision, le CyberKnife livre un rayonnement focalisé directement sur la tumeur, minimisant ainsi les dommages aux tissus sains environnants, comptant moins d'effets secondaires que les radiothérapies conventionnelles. Contrairement à la chirurgie traditionnelle, il est non invasif, réduisant, ainsi, le risque d'infection. Le gain en temps est aussi caractéristique de cette technologie. La durée globale du traitement est généralement plus rapide que celle des méthodes traditionnelles (**figure 2**).



Figure 1 : Exemple de bras robotisé utilisé en chirurgie robotisée et mini-invasive.



Figure 2 : Cyberknife, l'évolution robotisée de la radiothérapie.



Figure 3 : Robot Epione®, utilisé lors des ablations percutanées des tumeurs.



Figure 4 : Exemple de système robotisé en radiographie (Multitom Rax).

D'autres solutions facilitent les procédures multi-angulaires lors des traitements de grosses tumeurs. Un exemple : Epione®, une solution innovante pour la robotique en oncologie interventionnelle. C'est un robot unique qui offre six degrés de liberté et une bonne dextérité pour accéder à des trajectoires difficiles lorsqu'il s'agit de cibler des tumeurs abdominales (figure 3).

La graphie, un secteur qui n'est pas oublié

Les systèmes robotisés sont bien adaptés à l'imagerie musculosquelettique et à la traumatologie. Les technologues qui ont des « cliniques d'orthopédie » dans leurs programmes quotidiens apprécient énormément l'aide de ces appareils de graphie.

La position du tube radiogène, les paramètres du générateur et du collimateur, y compris la filtration supplémentaire ainsi que les paramètres de

traitement des images, sont des paramètres réglés automatiquement à partir du programme d'organe sélectionné (figure 4).

Une précision et une flexibilité de positionnement caractérisent ces appareils robotisés et aident les technologues à obtenir les incidences radiographiques demandées par les orthopédistes. L'automatisation, lors de la réalisation des examens, offre de bons flux de travail, surtout pour les patients semi-mobiles (en fauteuil roulant ou avec des biquets). Les technologues profitent, ainsi, des programmes anatomiques de réalisation d'examens des membres et de la souplesse d'alignement du détecteur et du tube à rayons X. Souvent, le système pivote autour du patient, ce qui diminue la manipulation et la mobilité. L'ergonomie pour le technologue est ainsi un gain majeur, ce qui évite les accidents au travail et l'absentéisme.

L'utilisation de ces appareils est aussi propice dans les salles des urgences lors de traumatismes. Le but est de ne pas trop manipuler le patient traumatisé, mais aussi, de répondre « radiologiquement » et de poser un diagnostic. Même dans ce contexte, le niveau de précision reste pertinent, et le technologue doit fournir les radiographies de bonne qualité. Les bras robotisés permettent de placer les organes à radiographier exactement dans la direction du faisceau de rayons X, sans contact avec l'humain.

Les constructeurs d'appareillages radiologiques ne cessent de prendre en considération la question des doses. Les systèmes robotisés réduisent la diffusion inhérente à la collimation du faisceau en évaluant et en ajustant automatiquement les niveaux d'exposition.

La robotique en radiologie interventionnelle

Certainement, la radiologie interventionnelle est la spécialité de la radiologie où les professionnels ont vraiment besoin d'assistance et de précision lors des interventions. C'est le domaine à succès de la robotique. Tout d'abord, apprendre à manipuler un robot pour réaliser des procédures interventionnelles complexes signifie que l'opérateur peut opérer à distance de la salle où l'intervention est effectuée et ne recevoir ainsi aucune exposition aux radiations. Deuxièmement, les instruments robotisés ont été conçus avec plusieurs degrés de liberté de navigation, ce qui rend leur dextérité meilleure que celle d'un être humain moyen. Cela signifie que, chez les patients présentant une anatomie complexe, la navigation des dispositifs interventionnels serait plus facile et donc, plus sûre. Troisièmement, les instruments robotisés les plus récents sont dotés d'un

système magnétique, ce qui rend les interventions guidées par imagerie par résonance magnétique (IRM) plus rapides et plus précises.

Les systèmes de guidage robotisés ont le potentiel de simplifier plusieurs procédures en radiologie interventionnelle. Ils augmentent la précision, réduisent le temps de procédure et améliorent potentiellement les résultats. Ce sont les procédures percutanées et endovasculaires qui profitent actuellement de l'aide des systèmes robotisés.

En angiographie ou en hémodynamie, l'utilisation de rayonnements ionisants est très recherchée. L'un des principaux avantages potentiels de la robotique est la réduction des radiations pour l'opérateur lorsqu'il travaille à partir d'une console distante ou au côté des patients. Des chercheurs ont évalué la précision, la durée de la procédure et la dose de rayonnement à l'aide d'un dispositif robotisé dans 32 biopsies abdominales et pelviennes percutanées. Ils ont démontré que l'utilisation de ce dispositif permettait non seulement une bonne planification de la procédure, mais aussi un réajustement de l'examen, sans intervention de l'opérateur. En utilisant un système robotisé guidé par le tomodensitomètre, un ciblage précis de l'aiguille avec une erreur inférieure à 2 mm peut être obtenu. L'appareillage robotisé est capable d'effectuer des actions de précision minimisant le risque de déplacement de l'aiguille, malgré les éventuels mouvements respiratoires du patient.

La tomodensitométrie (TDM) et l'IRM ont été les premiers domaines évidents pour effectuer les interventions guidées par robot, car elles offrent toutes deux une imagerie tridimensionnelle de n'importe



Figure 5 : Utilisation, à distance, d'une plateforme robotisée à l'intérieur d'une salle d'IRM pour guider une intervention.



Figure 6 : Robot Innomotion pour procédures guidées par IRM.

L'utilisation d'un système robotisé est jugée selon sa compatibilité avec l'appareil d'imagerie et sa compréhension et l'enregistrement des informations et des données reçues.

quelle zone du corps, avec des résolutions assez élevées. Les interventions guidées par TDM sont bien établies, mais les inconvénients de l'exposition aux radiations, les dimensions limitées des tunnels, les multiples étapes de positionnement de l'aiguille et la planification en dehors de la salle d'examen signifient que les procédures peuvent prendre beaucoup de temps (**figure 5**). Les interventions guidées par IRM sont moins bien établies en raison du coût, de la taille des tunnels et des contraintes sur les instruments qui peuvent être utilisés. L'intervention sous guidage IRM nécessite l'utilisation de logiciels de navigation, et on ajoute, actuellement, l'assistance robotique pour réussir la procédure interventionnelle en direct. La cryothérapie pour le cancer du rein et les biopsies transrectales de la prostate ont profité de cet avantage, malgré les principales limites des interventions guidées par robot en IRM. L'espace limité pour accéder au patient pendant la procédure avec un champ magnétique à haute intensité empêche l'utilisation de matériaux métalliques pour les dispositifs robotisés.

L'IRM est devenue progressivement un choix populaire de modalité d'imagerie dans les procédures interventionnelles, principalement en raison de l'excellente résolution du contraste des tissus mous, de l'absence de rayonnement ionisant et de la capacité de détection dans plusieurs plans. Cependant, elle présente des inconvénients majeurs, notamment le coût, l'espace du tunnel limité et les contraintes sur les instruments compatibles. Un système robotique compatible à la fois avec la tomodensitométrie et l'IRM a vu le jour et est bien utilisé dans le monde, c'est le bras Innomotion (**figure 6**). Il a été développé dans le but principal de positionner avec précision l'instrument à l'intérieur de l'aimant. Ce système robotique implique un bras robotique attaché à un anneau qui est ensuite monté sur la table du patient. Innomotion est entièrement compatible avec l'IRM et se compose d'un bras robotisé manipulé selon six degrés et fixé à un arceau de 260° sur la table d'IRM. Une interface utilisateur graphique permet de planifier la trajectoire directement sur les images IRM.

MrBot est un nouveau robot qui a été récemment développé à l'Université Hopkins, aux É.-U., pour un accès entièrement automatisé à la prostate, guidé par imagerie. Le robot est personnalisé pour l'insertion d'aiguilles transpérinéales et conçu pour être compatible avec tous les types connus d'équipements d'IRM à haute intensité.



Figure 7 : Melody, une solution robotisée d'échographie à distance : un professionnel de la santé maintient le robot sur le patient pendant que l'échographiste à distance manipule la sonde.

En raison de l'absence de risques de radiation et du faible coût, les interventions par échographie sont, actuellement, très accessibles. Les procédures interventionnelles en échographie dépendent aussi de l'expérience et de la dextérité manuelle de l'opérateur. Lors des interventions guidées par échographie, les opérateurs doivent tenir compte à la fois du fonctionnement de la sonde échographique et de celui de l'équipement stérile, ainsi que de l'interprétation des images échographiques. Pour surmonter ces limites, la robotique a commencé à se développer dans ce domaine avec le premier robot B-Rob I. Ce système suit en direct les lésions et automatise les procédures avec une grande précision et de la fiabilité. Souvent, c'est le positionnement simultané de la sonde échographique et la pression exercée par le bras mécanique du robot pour réaliser l'acte (biopsie percutanée, ablation par radiofréquence, thérapie thrombolytique...) qui sont problématiques pour le radiologiste; une telle difficulté diminue la précision. Depuis, des chercheurs ont développé un modèle de bras robotisé monté sur table qui garantit la stabilité et permet simultanément la prise d'image en temps réel et le placement de l'aiguille dans la lésion cible.

L'échographie

Habituellement, pendant l'examen, l'échographiste doit tenir manuellement la sonde pour scanner le patient et appliquer une certaine force pour assurer la continuité du faisceau ultrasonore. Cette pression cause un stress continu aux muscles et articulations de l'opérateur, des douleurs et un inconfort musculo-squelettique. Il est aussi difficile de réaliser des examens d'échographie dans les zones rurales en raison

de la pénurie d'échographistes qualifiés. Pour résoudre ces problèmes en échographie médicale, un grand nombre de systèmes d'imagerie médicale assistée par robot ont été développés ces dernières années. Ces systèmes utilisent un robot pour remplacer la main de l'échographiste afin de déplacer la sonde, facilitant ainsi l'acquisition de l'image. Utilisées dans les zones éloignées, ces échographies-robots peuvent être exploitées par des échographistes à distance à travers le réseau (figure 7). L'utilisation de ces systèmes automatisés et semi-automatisés réduit non seulement la charge de travail, mais garantit, souvent, de meilleurs résultats en élastographie.

Les particularités techniques nécessaires du robot

L'utilisation d'un système robotisé est jugée selon sa compatibilité avec l'appareil d'imagerie et sa compréhension et l'enregistrement des informations et des données reçues. Comme nous travaillons sur des patients, le mouvement et la respiration doivent bien être pris en considération lors de l'examen. Le système robotique doit également être facilement en interface avec le système d'imagerie et permettre un accès rapide au patient en cas d'urgence. Lorsque le système robotique est actionné, il ne doit pas interférer avec le système d'imagerie. Au cours de certaines techniques interventionnelles utilisant des robots, le mouvement des organes dû à la respiration est inévitable. Ainsi, il est nécessaire d'avoir une garantie de sécurité. Les systèmes robotisés à haute puissance peuvent réagir plus rapidement qu'un humain et compenser la respiration et d'autres mouvements (p. ex. : CyberKnife,

Accuracy). Cette compensation nécessiterait d'abord que le mouvement de l'organe-cible dû à la respiration soit reconnu et suivi avec précision. Les architectures mécaniques doivent adapter le robot aux tâches radiologiques et à l'espace disponible dans les salles d'examens. Un bras robotisé ne doit pas déranger une acquisition en IRM ou générer des artéfacts, par exemple.

La relation technologie/robot

Certes, l'utilisation de la technologie n'est pas nouvelle dans notre domaine de travail. D'ailleurs, notre profession est la spécialité de la médecine qui attire les recherches et l'introduction de nouveautés. Avec l'évolution des technologies, les robots seront plus autonomes et vont exécuter certaines tâches humaines entièrement seuls.

Le technologue profite déjà de l'aide des technologies pour améliorer la prise en charge multidisciplinaire, mais surtout pour assister le médecin-radiologiste. Il n'y a pas de craintes, la présence des systèmes robotisés ne va pas remplacer le technologue ! Tout comme la responsabilité, la prise de décisions appartient toujours aux humains. Il est donc important d'être vigilant en utilisant ces technologies pour garantir la sécurité optimale des patients.

Et les robots de service ?

Les établissements de santé comptent aussi sur les robots mobiles autonomes grâce à leur capacité à répondre à des besoins critiques, notamment la désinfection, la téléprésence et la livraison de médicaments et de fournitures médicales. Qu'en est-il en radiologie ?

Certainement, ces robots de service vont diminuer la pression sur les travailleurs de la santé en effectuant des tâches routinières de logistique. Imaginons un robot humanoïde dans notre département de radiologie. Voici ce qu'il pourrait effectuer.

D'abord, accueillir et diriger les patients vers les salles d'attente ne sera pas une tâche compliquée ! Des robots sont déjà utilisés dans les centres commerciaux ou les édifices gouvernementaux dans certains pays pour informer les clients. Le robot peut fournir des réponses sur l'emplacement des salles d'examen ou diriger les patients vers les bureaux pour plus d'information. Il est capable de reconnaître la voix humaine dans plusieurs langues et de déterminer si son interlocuteur est un homme, une femme ou un enfant. Cela sera, certainement, une solution aux barrières linguistiques lors d'un examen radiologique nécessitant des réponses à un questionnaire. Il n'est pas compliqué, non plus, pour lui, de fournir des réponses

**Avec l'évolution des technologies,
les robots seront plus autonomes et vont
exécuter certaines tâches humaines
de façon entièrement autonome.**



Figure 8 : Le robot modulaire Apollo A1, conçu pour le transport de bacs et le déchargement de cartons.

ou recommandations d'après examen radiologique. À titre d'exemple, boire beaucoup d'eau après un examen utilisant du baryum peut être affiché sur l'écran du robot au lieu d'être imprimé pour le patient !

Si vous avez une pénurie d'aides-technologues ou de préposés en radiologie, sachez qu'un robot pourra affecter plusieurs tâches. Il est possible de lui déléguer le stockage de médicaments et la fourniture dans le

Les progrès significatifs de l'intelligence artificielle générative ont permis aux robots d'avoir des capacités de perception, de manipulation et même de raisonnement.

dépôt du département. En révisant périodiquement l'inventaire de médicaments, il vous avertira certainement d'un prochain manque de produits de contraste radiologique! Le coordonnateur de salle d'examen ne se concentrera pas à préparer la commande, c'est son robot qui le fera à sa place.

En dehors de l'opposition des militants syndicaux, l'utilisation de ces robots dans les usines a amélioré

la rétention des employés, et assuré une meilleure satisfaction au travail. Tout simplement, le robot exécute les tâches que les employés ne souhaitent pas effectuer. Il est vrai que le milieu manufacturier utilise les robots pour prélever des caisses, pour l'empilage ou le déchargement de remorques, mais il est aussi utile en santé (**figure 8**). Les progrès significatifs de l'intelligence artificielle générative ont permis aux robots d'avoir des capacités de perception, de manipulation et même de raisonnement. Il est logique de pouvoir compter sur les robots, surtout pour les tâches qui ne nécessitent pas une grande prise de décisions.

Conclusion

Le mot qui se répétait dans cet article, c'est précision ! La robotique est synonyme d'automatique, mais surtout d'une réalisation de tâches avec précision. Les modèles d'IA et les robots peuvent tous deux surpasser les professionnels de l'imagerie dans

des tâches spécifiques selon certaines mesures. Mais les robots ne peuvent pas encore reproduire entièrement la finesse, les capacités de prise de décision ou la coordination complexe requises dans de nombreuses procédures complexes et multitâches.

Les systèmes robotisés peuvent être utilisés comme un outil de formation potentiel à l'avenir, qui permettra de réaliser des scénarios de formation extrêmement précis avec une exposition minimale aux radiations. De même, l'utilisation de systèmes robotisés va diminuer la présence des professionnels de la radiologie au cours des interventions, une solution déjà prometteuse pour vaincre la pénurie de technologues !

Ce qui est fascinant pour l'évolution dans notre domaine, c'est de combiner la robotique avec la technologie de la réalité virtuelle et augmentée, ainsi qu'avec l'intelligence artificielle ! Et c'est à ce moment que nous pouvons poser la question : **quelle place est celle de l'humain dans cette évolution ?**

RÉFÉRENCES

- 1 – St-Joseph's Health, *Robotic and Minimally Invasive Surgery*.
- 2 – Schoellnast, H., Solomon, S. B., « *Imaging of Interventional Therapies in Oncology: Image Guidance, Robotics, and Fusion Systems* », dans Dupuy, D. E., *Image-Guided Cancer Therapy-A Multidisciplinary Approach*, New York: Springer, 2013.
- 3 – *CyberKnife Robotic Radiosurgery System*.
- 4 – Edhacare, *Rayonnement robotique CyberKnife*.
- 5 – Siemens-Healthineers, *Multitom RAX*.
- 6 – Kassamali, R. H., Ladak, B., « *The role of robotics in interventional radiology: current status* », *Quant Imaging Med Surg*, juin 2015.
- 7 – Levy, S., Goldberg, S. N., Roth, I., Shochat, M., Sosna, J., Leichter, I., Flacke, S., « *Clinical evaluation of a robotic system for precise CT-guided percutaneous procedures* », *Abdom Radiol (NY)*, oct. 2021.

FIGURES

- 1 – St-Joseph's Health, *Robotic and Minimally Invasive Surgery*.
- 2 – Northwell Mather Hospital, *Precision CyberKnife treatment: What To Expect*.
- 3 – « *Epione® robotic-assisted percutaneous tumor ablation* », *Clinical Evidence*, avril 2024.
- 4 – Siemens-Healthineers, *Système de radiographie Multitom Rax à double robotique*.
- 5 – Najafi, G., Kreiser, K., Abdelaziz, MEMK, Hamady, M.S., « *Current State of Robotics in Interventional Radiology* », *Cardiovasc Intervent Radiol*, mai 2023.
- 6 – Cleary, K., Melzer, A., Watson, V., Kronreif, G., Stoianovici, D., « *Interventional robotic systems: applications and technology state-of-the-art* », *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 2006.
- 7 – Adechotech, *MELODY : Solution robotisée d'échographie à distance*.
- 8 – *Building Robots For Humans*.



Jane Arezina

Associate Professor
in Diagnostic
Imaging

Faculty of Medicine
and Health, University
of Leeds, Leeds, UK



Sandra Morrissey

Lecturer (Medical
Ultrasound) (T&S)

Faculty of Medicine
and Health, University
of Leeds, Leeds, UK



Wendy Harrison

Chief Executive
Officer at Unlimit
Health

Faculty of Medicine
and Health, University
of Leeds, Leeds, UK

Evaluating the use of BodyWorks Eve[®] high-fidelity ultrasound simulation equipment in formative clinical assessments

Le texte est disponible en français ici.

La traduction a été effectuée via l'application DeepL.



Sonographers use cutting-edge medical imaging technology to undertake, interpret and report on a wide range of complex medical ultrasound examination.¹ Sonography is constantly evolving and significant advances over the last 25 years suggest it could become a profession in its own right.¹

The number of clinical placements offered by ultrasound service providers is limited, partially due to the high demand for medical ultrasound examinations.² Increasing demand, waiting lists and staff vacancies cause significant pressures on clinical ultrasound services and will potentially continue to restrict ultrasound training programme numbers as many departments see training of learners as an additional burden.³ In 2019, ultrasound was the second most common imaging test in the United Kingdom with 0.81 million ultrasound examinations performed.³ The number of non-obstetric ultrasound examinations increased by 10.3% between 2022 and 2023 and those waiting more than 6 weeks increasing by 2.2% from 18.6%

to 20.9%.³ This is despite a national shortage of qualified sonographers² and reported vacancy rates of up to 14.9%.⁴

Sonography education in the United Kingdom is predominantly at postgraduate level. Most trainees are from healthcare backgrounds with equally high vacancy rates such as diagnostic radiography and midwifery,⁴ which threatens to undermine the effectiveness of the clinical placement experience.⁵

Simulation is used widely in health care education, which is integral to the delivery of many medical ultrasound programmes. It provides more diverse learning opportunities and is a recognised innovative pedagogic approach to learning.⁶ Ultrasound simulation includes phantoms that reproduce body parts (with or without pathology) and more complex high-fidelity ultrasound imaging simulators such as BodyWorks Eve[®] (BWE).^{7,8}

BWE is an ultra-realistic female patient simulator with palpable, accurate anatomical landmarks and over 100 real patient cases

including 10,000 pathology variations, which allows learners to perform realistic ultrasound examinations. The inclusion of simulation in the curriculum ensures that a variety of teaching approaches are utilised, which increases inclusivity for learners.⁹ Simulation standardises learning and has the potential to improve safety as it enables learners to make mistakes without putting patients at risk. In addition, it promotes critical thinking and provides opportunities for feedback.

Studies show that a combination of simulation alongside supervised clinical practice produces positive learning outcomes,¹⁰ increases learners' confidence¹¹ and competence^{7,10} and is twice as effective as traditional supervised clinical experience as it provides a more concentrated learning environment.¹² The postgraduate Diagnostic Imaging (DI) programme at the University of Leeds utilises simulation to give learners the opportunity to engage in enterprising, innovative and creative activities while augmenting clinical practice experience thereby reducing the burden on ultrasound service providers.

Simulation provides a realistic training environment, which helps learners to integrate theoretical knowledge with clinical experience.¹³ It has been proposed as a valid and reliable method for assessment of clinical ultrasound skills which compliments assessments undertaken in the clinical placement.¹⁴

As early as 2008, Lammers *et al.*¹⁵ identified that simulation allowed educators to develop learner-focused training and outcomes-based assessments. Weller *et al.*¹⁶ predicted that advances in simulation technology would increase its ability to replicate real clinical experience and potentially help to resolve capacity issues in clinical education.¹⁷

Clinical assessments are usually undertaken in the clinical environment on 'real' patients, and mandatory assessment of competency to practice via a summative clinical assessment prior to qualification is an essential component of any medical ultrasound programme accredited by the Consortium for the Accreditation of Sonographic Education (CASE).¹⁸ Formative (or 'mock') clinical assessments which replicate the summative assessments are undertaken to monitor progress, to enable learners to reflect on their performance and to provide a format for structured feedback.

CASE acknowledges that simulation has a role in formative learning but should not replace the assessment of clinical skills in the clinical setting.¹⁸

The purpose of this study was to investigate whether it was feasible for participants to undertake a formative clinical assessment on the BWE that could replicate undertaking an assessment in clinical practice. The study also aimed to undertake thematic analysis of participants' feedback.

The purpose of this study was to investigate whether it was feasible for participants to undertake a formative clinical assessment on the BWE that could replicate undertaking an assessment in clinical practice.

Method

Formative clinical assessments were conducted by the primary investigator (PI), who was an experienced sonographer and medical ultrasound lecturer who had been undertaking clinical assessments for 20 years. The data were analysed using narrative statistics, and participants' feedback was evaluated using thematic analysis.¹⁹

Purposive sampling was utilised to recruit 16 participants (9 females and 7 males)²⁰ from a cohort of the 28 learners all of whom were enrolled on the DI programme and undertaking at least one of the following clinical modules: Obstetric, Gynaecological or General Medical Ultrasound.²¹ A total of 14 participants were diagnostic radiographers; 2 were medical doctors all of whom had been scanning for a minimum of 14 hours per week for a minimum of 3 months.

Ethical approval was gained prior to commencing the study (MREC number: 19-011; 7 January 2020). All the students in the cohort were sent the participant information, and consent to use all information gained during the research was obtained from the 16 participants via the participant consent form. Participants' rights to confidentiality, safeguarding, data protection and withdrawal were discussed prior to commencing the study and an opportunity to ask questions was provided. All participants had a debrief discussion with the PI and information which included organisations and sources of support was provided.

Participants were randomly allocated a pathological case linked to one of the clinical modules being undertaken by each participant; three participants were allocated an obstetric case: four a gynaecological case and nine a general medical case. All 16 formative clinical assessments were conducted over a period of 5 days by the PI who assessed and recorded the participants' performance against pre-determined criteria using the performance level descriptors (**table 1**) used by the DI programme. Seven criteria that indicate professionally incompetent or dangerous practice were identified on the assessment form by double-stars (**). If participants failed to achieve a level 2 or above in any of these seven criteria, this would result in a fail had this been a summative assessment. Participants reflected on their performance and provided written comments regarding their experience of undertaking the formative assessment immediately after the assessment and before the outcome of the assessment were shared. The PI then informed the participants of the outcome of

1	Works below the expected level Limited ability to fulfil the performance criteria, the participant requires frequent direct supervision and advice to perform the examination.
2	Works at the expected level The performance fulfils the performance criteria, there is evidence of integration of knowledge and skill required to perform competently without supervision or requires minimal advice.
3	Works above the expected level The performance fulfils the performance criteria, the participant integrates conceptual knowledge and skills, plus there is evidence of critical appraisal and reflective abilities without supervision. X-Not performed.
X	Not performed

Table 1: Performance-level descriptors (included with the permission of University of Leeds).

the assessment and provided verbal and written feedback to the participants. This was followed by a structured debrief discussion, which enabled participants to reflect on the assessment experience, to identify lessons learned and to formulate a plan for improvement.

All completed formative assessment forms were anonymised. Narrative statistics were reported along with a comparison of the number and proportions of fails across the different clinical areas. A Fisher's exact test²² was performed to assess whether these proportions were statistically significant. Thematic analysis was applied to the full dataset^{19,23} and the PI analysed and openly coded the transcripts. Codes were assigned according to their characteristics and formalised into the main themes. Concepts were then categorised and ordered into themes and sub-themes that reflected the research aims and questions. Representative quotes were selected for each theme and sub-theme.²⁴

Results

Outcome of the formative clinical assessment

Eight of the 16 (50%) participants recruited would have passed if this had been a summative clinical assessment. However, 50% (eight participants) failed to reach

Participant	Clinical area	Hand hygiene/ infection control as per trust guidelines	Checked patient's identity	Gain consent to proceed	Demonstrate the anatomy correctly	Identify or exclude relevant pathology during the scanning procedure	Ensure correct patient demographics and labelling	Write a summary of the examination with a conclusion
1	Obstetric	2	2	2	2	2	2	1
2	Obstetric	2	2	2	2	2	x	2
6	Gynaecology	2	2	2	1	1	2	2
7	Gynaecology	2	2	2	1	3	2	1
11	General Medical	2	2	2	1	1	1	2
14	General Medical	2	2	1	1	1	2	2
15	General Medical	1	2	X	1	1	2	2
16	General Medical	2	2	2	2	2	2	1

Key

1. Works below the expected level | 2. Works at the expected level | 3. Works above the expected level | X. Not performed.
 Indicates automatic fail at summative assessment

Table 2: Participants who failed to reach the required level in areas that indicate professionally incompetent or dangerous practice (included with the permission of University of Leeds).

the required level for at least one of the areas denoted by double-stars and would have failed (**table 2**).

Of these, two (25%) examined an obstetric case, two (25%) a gynaecological case and four (50%) a general medical case. Comparison of fails across the different clinical areas identified that of the three obstetric cases, two participants failed (66.7%); of the four gynaecological cases, two participants failed (50.0%); and of the nine general medicine cases, four participants failed (44.4%). There was no statistically significant difference in the proportion of fails across clinical areas (Fisher's exact $p \leq 1.000$) and no benefit to performing additional analysis, given the large p-value.²³

Three participants did not achieve the required level for one criterion (P1, P2 and P16). Two participants did not achieve the required level in two criteria (P6 and P7).

Two participants did not achieve the required level in three criteria (P11 and P14). One (participant 15) did not achieve the required level in four criteria.

Thematic analysis of the feedback from all of the participants

Four main themes and two sub-themes emerged from the thematic analysis of the participants' feedback (**figure 1**).

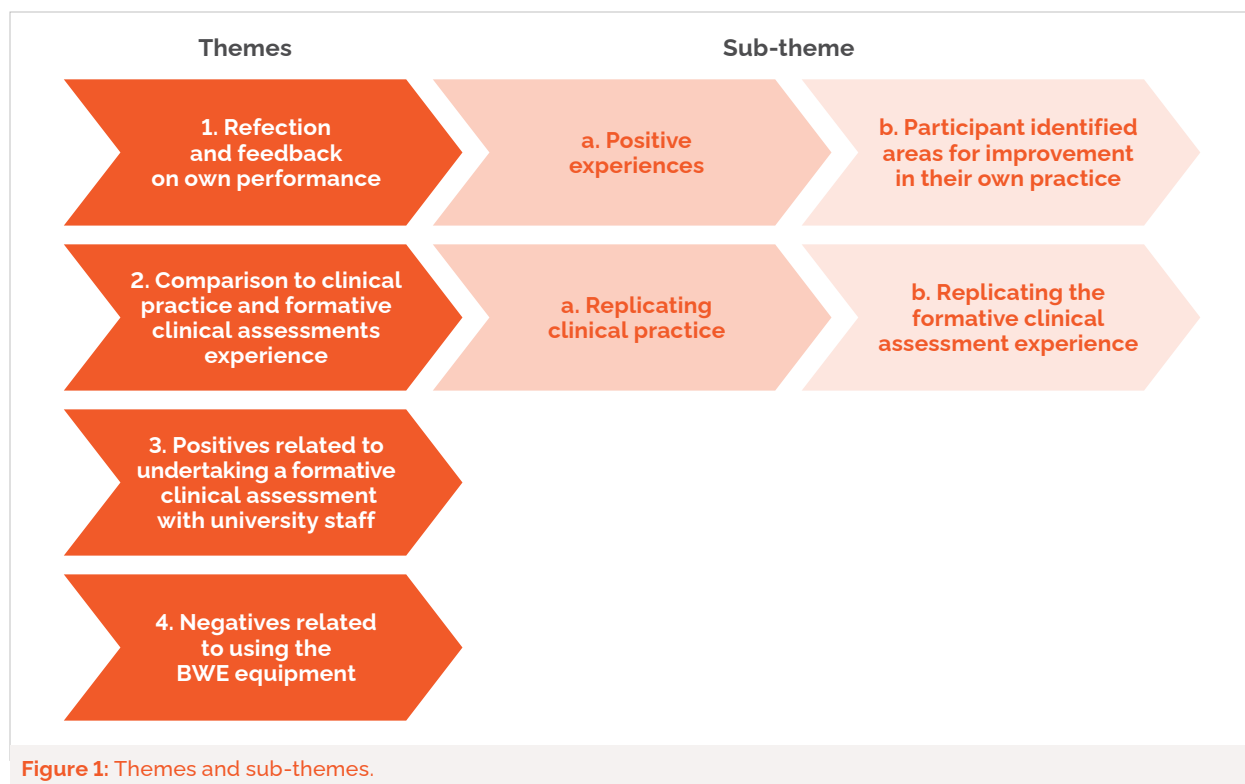
Representative quotes have been included from all the participants, regardless of whether they reached the required level or not. Where the quote is from a participant who failed to the required level in one or more criteria, the letter 'F' has been added after the quote.

Participant feedback on their performance:

Positive experiences. Most participants stated that they had gained something positive from using the simulation for a formative clinical assessment. One participant (P13) stated 'I enjoyed the whole experience' and another stated that 'The assessment is good' (P5).

Some participants were confident that they had performed or communicated well during the assessment. One participant stated that 'I believe my scan went well' (P10) and another that 'Overall it is a good formative' (P5). Other comments included:

- 'Spoke to the patient well and explained the pathology adequately.' (P3)
- 'My professionalism was good. Asked appropriate questions.' (P9)
- 'My communication I felt was good as I talk to the patient via procedure.' (P14 (F))



Participant identified areas for improvement in their own practice:

Most participants reflected on their performance to identify areas for improvement. One participant stated, 'Need more practice scanning' (P12 (F)).

Many participants identified specific areas that needed improvement:

- '... felt like it has pointed where I need to focus my time on e.g. studying their anatomy.' (P15 (F))
- 'I think that the examination went well, however, there is still room for improvement. Thinking about landmarks will help me with some aspects.' (P11 (F))
- 'My overall confidence with doing abdominal scans is still developing as general medical US is the area I have the least experience in. I still find the liver in particular quite difficult as it is such a large organ with lots of structures to assess.' (P13)
- 'Overall I was very nervous, I need in future to get and focus on my landmarks.' (P14 (F))

One participant stated that it had given them the opportunity to scan pathology that they had not seen in clinical practice:

- '... it gave me a chance to assess anatomy that I may not see during my training. I have learnt how to fully examine that anomaly and I would feel more confident if I was to come across it in practice.' (P1 (F))

Other participants mentioned issues relating to image optimisation or use of equipment features that may enhance the examination:

- 'The session has highlighted to me the importance of using my depth correctly and using sector width.' (P4)
- 'Remember to use the colour Doppler. Knowledge of malignant ovarian masses. Persevere on finding ovaries on TA.' (P6 (F))
- 'Difficult assessment of the kidneys, I need to work on image optimisation and using functions such as colour Doppler and measurements and disabling compound imaging.' (P9)
- 'I could have done better in terms of image optimisation and assessment of uterus and ovaries.' (P10)

Other participants identified areas of examination technique that had affected their performance:

- 'Future-don't panic and also key thing is look at the scan in a broader view, so I don't miss pathology on the periphery.' (P14 (F))
- 'Not to be nervous and more decisive at point of time with knowing when to move on and not fixate on a particular structure. Also measure pathology and ensure examiner is aware that pathology has been noted. Improve image quality -better sections of organs e.g. kidneys TS and aorta.' (P8)

Some participants felt that the feedback would reduce mistakes when performing the assessment in practice:

- 'The feedback will be with me now and I know what to do/not to do in the exam. I made mistakes during simulation which I now know how to correct in the real exam. Useful to see the images and discuss how to improve them, I will definitely concentrate more on image optimisation.' (P2 (F))

Replicating clinical practice and formative clinical assessments experience

Replicating clinical practice:

Overall, most participants felt that scanning the BWE was similar to undertaking an examination in clinical practice:

- 'The scanning is true to real life.' (P1 (F))
- 'Overall, a work-like learning experience.' (P7 (F))
- One participant stated that '... I am pleased that I set the patient on the correct clinical pathway.' (P10)

Most participants who comment on this aspect felt that the simulation had helped them to practice their skills in a safe environment and increased their confidence in specific areas:

- 'BodyWorks Eve was helpful to practice clinical skills in a no-pressure environment.' (P4)
- 'Today's [sic] session has given me confidence in the hospital setting in understanding protocols and utilising US to diagnose pathology.' (P4)

Replicating the formative clinical assessment experience:

Many of the participants felt that using the BWE was a useful adjunct, not an alternative, to performing formative assessments on 'real' patients in a clinical setting:

- 'I think that BodyWorks would work well alongside real formative examinations.' (P7 (F))
- 'Very useful to experience simulated exam scenario.' (P2 (F))
- 'Exercise is a good indicator of assessment expectations and 'stress'.' (P16 (F))
- 'Useful to take the exam under exam conditions. Made me think on the spot and great practice for the real thing.' (P12)
- 'I liked how we could discuss what we should and shouldn't do/say during an assessment.' (P7 (F))

Opportunity to do a formative assessment with university staff:

Some participants liked the opportunity to show their skills and receive feedback from a member of university staff:

- 'This session was useful as it gave the PI a chance to see how my scanning ability is at this stage and she offered some useful advice.' (P13)
- 'I didn't feel under pressure and felt comments made by the PI were supportive and helpful.' (P15 (F))
- 'Helps to chat through anatomy and technique. Would like to do more throughout the year.' (P16 (F))

Negatives identified with the equipment:

Some participants identified areas that might improve the authenticity of the BWE such as the inclusion of transvaginal (TV) capability and a variety of technical improvements:

- 'Could be enhanced with a TV scan to confirm diagnostic accuracy.' (P3)

In addition, many of the participants felt that scanning the BWE was not the same as scanning real patients, making it difficult to demonstrate their skills in this setting as opposed to in the clinical setting:

- '... as BodyWorks Eve is immobile and the technical controls are very different to an US machine. It was difficult to portray what I can do in clinical practice with BodyWorks Eve.' (P13)
- '... found it more difficult to scan dummy so become more adapted to it.' (P8)
- 'Tendency to forget things in this scenario since the patient is not real and less adaptations.' (P5)

Discussion

Evidence suggests that simulation is a good adjunct to clinical experience,^{6, 7, 9, 11-17, 25} but there is limited

research regarding the assessment of clinical skills development of medical ultrasound students.²⁶

Simulation creates a safe training environment¹³ that closely replicates clinical practice²⁷ and allows learners to acquire the skills required for practice²⁸ and to actively participate in their own learning.¹³ Most participants felt that performing a formative clinical assessment using BWE enabled them to practice their skills in a safe, supportive environment.²⁹

Eight participants (50%) were assessed as competent to practice while the other 50% would have failed in areas classed as professionally incompetent or dangerous practice. However, the purpose of formative assessments is not to confer competence but to evaluate the level of learning achieved for a specific skill, whereas summative assessment assesses whether that skill has been mastered.³⁰ At the time of the study, the participants had been scanning for a short period of time and one participant (P12) stated that they had not had sufficient scanning experience. For participant 13, this was linked to a specific clinical area. The participants' level of experience in each clinical area varied; however, the proportion of fails in the different areas was not found to be statistically significant ($p \leq 1.000$),²³ probably due to the small number of participants.

Simulation provides an authentic hands-on experience that requires students to apply their knowledge and skills to real-world situations and authenticity is not only crucial to the development of decision-making, clinical judgement and clinical reasoning skills³¹ but also enhances the learners' ability to cooperate with the interdisciplinary team, to manage complex situations and to understand interpersonal relations.¹³ Self-confidence, which is the ability to demonstrate essential clinical practice skills, also increases learners' satisfaction, self-efficacy and capacity for critical thought³¹ and two participants were confident that they had performed well (P5, P10).

A structured debrief discussion is an essential component of the formative assessment process,¹³ as it allows learners to reflect on their performance which is essential for learning to occur.^{32, 33} Some participants were able to reflect on their performance and self-identify areas for development³⁴ while others (P13, P15 and P16) valued receiving feedback from university staff. It enables them to identify areas for improvement lessons and to formulate an action plan.

Most participants received the feedback positively, which is in line with other studies, where learners expressed positive sentiments about undertaking

This study indicates that using simulation to perform formative clinical assessments is feasible and was positively received by the participants. The more realistic simulation is, the greater the learning.

formative assessments and receiving feedback.³⁵ Positive feedback and encouragement can boost learners' confidence; however, for negative feedback to be perceived constructively, the simulation environment needs to foster an atmosphere of mutual respect and cooperation.³¹

BWE was perceived as a positive addition, but not an alternative, to the formative assessment undertaken on patients in a clinical setting.²⁸ The evidence from this study suggests that simulation could replace some aspects of the clinical training and formative clinical assessments and is likely to be welcomed by learners and ultrasound departments alike² as it will help learners prepare for the assessment and may potentially reduce pre-assessment anxiety.

Communication is integral to the quality of care and simulation can help to develop these skills.¹³ Evidence shows that communication skills development helps learners to interact effectively with patients and positively influences the quality of the healthcare they provide.³¹ Participants articulated their feelings and perceptions relating to communication and several of the participants (P3, P9 and P14) expressed confidence in their ability to communicate well with the 'patient', despite this being a manikin. Sonographers are often the first health professional to identify and deliver news of pregnancy complications to parents.³⁶ Communication coaching could support sonographers when delivering unexpected news³⁷ and a recent independent review into pregnancy loss³⁸ recommended that all sonographers should undertake training to develop their communication skills. Research exploring the use of BWE communication coaching with learners to enhance their communication skills is recommended.

The more realistic simulation is, the greater the learning.^{17,39} Aspects of the BWE made the assessment less authentic, such as differences in the system controls compared to ultrasound equipment and not having the capability for TV examinations.

Aligning the BWE to scanning in clinical practice is important as BWE could be potentially extremely useful as an adjunct to clinical placement experience,⁴⁰ in formative clinical assessments and as a major resource for ultrasound training programmes.

Limitations of the study

Low participant numbers (n = 16) may have reduced the statistical power of the study. It would be useful

to undertake further research with a higher number of participants.

Using only one assessor was a limitation of this study as increasing the number of assessors improves the accuracy and reliability of the assessment.⁴⁰ In practice, learners undertaking clinical assessments have two assessors and are assessed on three cases for each clinical module. In this study, participants were only assessed on one clinical case and the short duration of the assessment may have negatively impacted on its usefulness.³⁹

The study planned to compare the participants' performance on BWE to the outcomes of the formative clinical assessments undertaken in clinical practice to ascertain whether the participants used the feedback and feed forward gained during the study.³³ However, this was not possible due to the Covid-19 pandemic.

Implications for research and practice

A study replicating the formative clinical assessment undertaken in clinical practice, including the same number of cases and using two assessors, is recommended to improve reliability and could also explore whether participants used the assessors' simulation feedback or feed forward when undertaking formative clinical assessments in clinical practice.¹³ It may be useful to explore whether simulation could be used for summative clinical assessments, while taking the importance and implications of conferring competence to practice into account.²⁷

Although not related to assessment, a study to investigate the use of BWE to facilitate communication coaching³⁸ would be pertinent as communication is an extremely important aspect of a sonographers' role in line with a recent independent review into pregnancy loss.³⁸

Conclusion

This study indicates that using simulation to perform formative clinical assessments is feasible and was positively received by the participants. Extending the study to include more cases, additional assessors and comparing participants' performance during simulation to their performance in clinical practice would increase the rigour of a future study. Further studies into whether it is appropriate to use simulation for summative clinical assessments and for communication coaching are also recommended.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Professor Paul Baxter for his support with this research.

CONTRIBUTORS

JA conceived the study, researched literature, developed the protocol, gained ethical approval and participant recruitment. WH was involved in data analysis. JA wrote the first draft of the manuscript. All authors reviewed and edited the manuscript and approved the final version of the manuscript.

DECLARATION OF CONFLICTING INTERESTS

The author(s) declared the following potential conflicts of interest with respect to the research, authorship and/or publication of this article: JA and SM provide consultative advice to Intelligent Ultrasound. Intelligent Ultrasound loaned the BodyWorks Eve® equipment without charge to enable this study to be undertaken and have agreed to upgrade the BWE systems at the University of Leeds without charge.

GUARANTOR

JA

ORCID IDS

Jane Arezina

Wendy Harrison

SUPPLEMENTAL MATERIAL

Supplemental material for this article is available online.

REFERENCES

- 1 – EBMUS, *Preceptorship and capability development framework for sonographers*, 2022.
- 2 – Harrison G and Beardmore C, *Ultrasound clinical teaching capacity in England: a scoping exercise*, *Radiography* 2020; 26: 3.
- 3 – NHS England and NHS Improvement, *Diagnostic imaging dataset annual statistical release 2022–23*, 2023.
- 4 – Venables H, *The future of sonography – an opinion. Imaging and oncology*, Society and College of Radiographers, 2024.
- 5 – Society of Radiographers, *Ultrasound training, employment, registration and professional indemnity insurance*, 2021.
- 6 – Bridge P, Adeoye J, Edge CN, *et al*, *Simulated placements as partial replacement of clinical training time: a Delphi consensus study*, *Clin Simul Nurs* 2022; 68: 42–48.
- 7 – Gibbs V, *The role of ultrasound simulators in education: an investigation into sonography learner experiences and clinical mentor perceptions*, *Ultrasound*, 2015; 23: 204–211.
- 8 – *Intelligent Ultrasound*, (accessed February 2024).
- 9 – Nayahangan LJ, Dietrich CF and Nielsen MB, *Simulationbased training in ultrasound – where are we now?* *Ultraschall Med* 2021; 42: 240–244.
- 10 – Adamson KH and Prion S, *Questions regarding substitution of simulation for clinical*, *Clin Simul Nurs* 2021; 50: 79–80.
- 11 – Toqan D, Ayed A, Khalaf IA, *et al*, *Effect of high-fidelity simulation on self-satisfaction and self-confidence among nursing students*, *SAGE Open Nurs* 2023; 9: 23779608231194403.
- 12 – Sullivan N, Swoboda SM, Breymier T, *et al*, *Emerging evidence toward a 2:1 clinical to simulation ratio: a study comparing the traditional clinical and simulation settings*, *Clin Simul Nurs* 2019; 30: 34–41.
- 13 – Koukourikos K, Tsaloglidou A, Kourkouta L, *et al*, *Simulation in clinical nursing education*, *Acta Inform Med* 2021; 29: 15–20.
- 14 – Hani S, Chalouhi G, Lakissian Z, *et al*, *Introduction of ultrasound simulation in medical education: exploratory study*, *JMIR Med Educ* 2019; 5: e13568.
- 15 – Lammers RL, Davenport M, Korley F, *et al*, *Teaching and assessing procedural skills using simulation: metrics and methodology*, *Acad Emerg Med*. 2008; 15: 1079–1087.
- 16 – Weller JM, Nestel D, Marshall SD, *et al*, *Simulation in clinical teaching and learning*, *Med J Aust* 2012; 196: 594.
- 17 – Ryall T, Judd BK and Gordon CJ, *Simulation-based assessments in health professional education: a systematic review*, *J Multidiscip Healthc*. 2016; 9: 69–82.
- 18 – Consortium for the Accreditation of Sonographic Education (CASE), *Standards for Sonographic Education*, 2019.
- 19 – Braun V and Clarke V, *Using thematic analysis in psychology*, *Qual Res Psychol* 2006; 3: 77–101.
- 20 – Malterud K, Siersma VD and Guassora AD, *Sample size in qualitative interview studies: guided by information power*, *Qual Health Res* 2016; 26: 1753–1760.
- 21 – Campbell S, Greenwood M, Prior S, *et al*, *Purposive sampling: complex or simple? Research case examples*, *J Res Nurs* 2020; 25: 652–661.
- 22 – Kim HY, *Statistical notes for clinical researchers: chisquared test and Fisher's exact test*, *Restor Dent Endod* 2017; 42: 152–155.
- 23 – Bleiker J, Morgan-Trimmer S, Knapp K, *et al*, *Navigating the maze: qualitative research methodologies and their philosophical foundations*, *Radiography* 2019; 25: S4–S8.

- 24** – Pope C, Ziebland S and Mays N, *Analysing qualitative data*, In: Pope C and Mays N (eds) *Qualitative research in health care*. Oxford: Blackwell Publishing; BMJ Books, 2006, pp. 63–81.
- 25** – Bradley K, Quinton A and Aziz A, *Determining if simulation is effective for training in ultrasound: a narrative review*, *Sonography* 2020; 7: 22–32.
- 26** – Sheehan F, McConnaughey S, Freeman R, et al, *Formative assessment of performance in diagnostic ultrasound using simulation and quantitative and objective metrics*, *Mil Med* 2019; 184: 386–391.
- 27** – Leal-Costa C, Carrasco-Guirao JJ, Adánez-Martínez MG, et al, *Does clinical simulation learning enhance evidence-based practice? A quasi-experimental study involving nursing students*, *Clin Simul Nurs* 2024; 87: 101494.
- 28** – Al Gharibi M and Arulappan MS, *Repeated simulation experience on self-confidence, critical thinking, and competence of nurses and nursing learners – an integrative review*, *SAGE Open Nurs* 2020; 6: 2377960820927377.
- 29** – Lateef F, *Maximizing learning and creativity: understanding psychological safety in simulation-based learning*, *J Emerg Trauma Shock* 2020; 13: 5–14.
- 30** – Buléon C, Mattatia L, Minehart RD, et al, *Simulation-based summative assessment in healthcare: an overview of key principles for practice*, *Adv Simul* 2022; 7: 42.
- 31** – Alrashidi N, Pasay E, Alrashedi MS, et al, *Effects of simulation in improving the self-confidence of learner nurses in clinical practice: a systematic review*, *BMC Med Educ* 2023; 23: 815.
- 32** – Duff JP, Morse KJ, Seelandt J, et al, *Debriefing methods for simulation in healthcare: a systematic review*, *Simul Healthc J Soci Simul Healthc* 2024; 19: S112–S121.
- 33** – Morley D, Bettles S and Derham C, *The exploration of learners' learning gain following immersive simulation – the impact of feedback*, *High Educ Pedagog* 2019; 4: 368–384.
- 34** – Lane AS and Roberts C, *Contextualised reflective competence: a new learning model promoting reflective practice for clinical training*, *BMC Med Educ* 2022; 22: 71.
- 35** – Yang W, Ruan M, Gong J, et al, *Motivational simulated teaching of clinical skills using formative assessment methods for medical undergraduate learners: between-group evaluation of a simulated course in a Chinese medical college*, *BMJ Open* 2023; 13: e069782.
- 36** – Johnson J, Arezina J, Tomlin L, et al, *UK consensus guidelines for the delivery of unexpected news in obstetric ultrasound: the ASCKS framework*, *Ultrasound* 2020; 28: 235–245.
- 37** – Kaur E, Arezina J, Bryant L, et al, *Adapting a communication coaching intervention for obstetric sonographers delivering unexpected news: a qualitative study*, *Ultrasound* 2023; 31: 273–283.
- 38** – Clark-Coates Z and Collinge S, *The Independent pregnancy loss review: care and support when baby loss occurs before 24 weeks gestation*, Department of Health and Social Care, 2023.
- 39** – Chernikova O, Heitzmann N, Stadler M, et al, *Simulationbased learning in higher education: a meta-analysis*, *Rev Educ Res* 2020; 90: 499–541.
- 40** – Lucius C, Nielsen MB, Blaivas M, et al, *The use of simulation in medical ultrasound: current perspectives on applications and practical implementation (WFUMB state-of-the-art paper)*, *Endosc Ultrasound* 2023; 12: 3115–3186.

Adapter la radiothérapie : l'IRM-Linac, une innovation technologique au service des patients atteints de cancer

DÉPLOIEMENT DE L'IRM-LINAC AU CHU DE QUÉBEC — UNIVERSITÉ LAVAL



Émilie Dion

Technologue en
radio-oncologie

CHU de Québec —
Université Laval



Raphaël Mathieu

Technologue en
radio-oncologie

CHU de Québec —
Université Laval

L'évolution constante des technologies, notamment en oncologie, a conduit à des progrès notables dans l'efficacité des traitements de radiothérapie. Dans ce contexte, l'introduction au CHU de Québec — Université Laval de l'IRM-Linac, un appareil de radiothérapie adaptative, constitue une avancée majeure dans la diversité des soins offerts aux patients atteints de cancer. Son déploiement au sein du nouveau Centre intégré en cancérologie (CIC) témoigne d'une volonté d'offrir des traitements toujours plus précis et personnalisés pour les besoins spécifiques de chaque patient.

Qu'est-ce que l'IRM-Linac?

L'IRM-Linac Unity, développé par Elekta, en collaboration avec Philips, représente une percée significative dans le domaine de la radiothérapie. Ce système combine un système d'imagerie par résonance magnétique (IRM) à un accélérateur linéaire (LINAC) (**figure 1**). L'IRM permet une excellente visualisation des tissus mous, facilitant ainsi la distinction entre les tissus sains et les tissus tumoraux, tout en offrant la possibilité de surveiller les mouvements anatomiques du patient pendant le traitement. Cette visualisation en direct des tumeurs et des structures environnantes est



Figure 1

particulièrement utile pour les tumeurs mobiles. Grâce à un ciblage précis des tumeurs, l'IRM-Linac permet de maximiser la dose administrée pour traiter la maladie, tout en minimisant l'exposition des tissus sains à la radiation. Ainsi, on peut espérer améliorer les résultats cliniques et réduire les complications causées par la radiothérapie chez les patients. La possibilité d'adapter le plan de traitement selon les images obtenues en temps réel permet d'optimiser les séances de radiothérapie, en tenant compte des variations anatomiques quotidiennes du patient.

IRM-Linac Unity en chiffres	
Énergie du faisceau	7 MV FFF
Débit de dose	425 UM/minutes
Distance source – isocentre	143,5 cm
Dimension du collimateur	57,4 cm x 22 cm (largeur x longueur)
Nombre de lames	160
Tailles des lames à l'isocentre	7,2 mm
Intensité du champ magnétique	1,5 Tesla
Diamètre du cube	70 cm

Figure 2 : L'IRM-Linac au CHU de Québec — Université Laval.

La sélection des patients qui recevront un traitement de type adaptatif est effectuée par le radio-oncologue. La décision est basée sur le type de maladie et son emplacement, la définition visuelle de la lésion sur IRM, l'admissibilité du patient à des protocoles de recherche ainsi que l'anatomie du patient, qui doit respecter les contraintes géométriques de l'appareil. Un questionnaire rigoureux est également effectué pour valider la présence des dispositifs médicaux (DCEI, neurostimulateur, clips d'anévrisme, prothèses ou implants, pompe médicamenteuse implantée, etc.) : les champs magnétiques peuvent interférer avec leur fonctionnement. Certains patients ne sont donc pas admissibles à l'IRM. Les pathologies ciblées seront d'abord les cancers de la prostate et les cancers situés dans l'abdomen. Ceux-ci recevraient habituellement un traitement hypofractionné sur un accélérateur linéaire équipé d'un collimateur micro-multilames et d'un système de surveillance des traitements par la surface (SGRT). Il s'agit d'indications thérapeutiques pour lesquelles la dose quotidienne est plus élevée qu'un traitement standard et qui ont un fort risque de mouvements anatomiques internes compromettant la protection d'organes à risque.

Une fois qu'il est établi qu'un patient sera traité à l'IRM-Linac, il suit un cheminement de planification de traitement standard. Considérant qu'un traitement adaptatif est plus long à délivrer qu'un traitement

Grâce à un ciblage précis des tumeurs, l'IRM-Linac permet de maximiser la dose administrée pour traiter la maladie, tout en minimisant l'exposition des tissus sains à la radiation.

L'intégration de l'IRM dans le processus de traitement quotidien du patient permet, pour les cas ciblés, d'obtenir une meilleure visualisation des structures, contrairement à l'imagerie conventionnelle de type CBCT (*Cone-Beam Computed Tomography*).

standard, il est d'autant plus important de favoriser un positionnement confortable et stable plutôt qu'une immobilisation complexe et difficile à tolérer. La préparation d'un plan de traitement se fait dans le logiciel Raystation, où l'ensemble des structures sont segmentées sur l'IRM, mais également sur un examen de tomodensitométrie (TDM). Les unités Hounsfield présentes sur le tomodensitomètre permettent d'obtenir les densités électroniques nécessaires au calcul de la dose. Par la suite, un plan de référence est réalisé sur une séquence d'IRM dans le logiciel de planification dosimétrique Monaco. Lorsque la dosimétrie est complétée et que l'ensemble des vérifications et des approbations sont réalisées, le plan de traitement est transféré dans le logiciel de gestion des traitements Mosaïq. Ce plan ne sera jamais utilisé cliniquement, mais servira plutôt de point de départ pour les adaptations journalières.

À chaque séance de traitements, une séquence d'IRM est acquise pour produire le nouveau plan adapté du jour. Celle-ci est fusionnée avec la séquence utilisée pour la planification, et les changements anatomiques sont analysés afin de prévoir les modifications à apporter. Deux stratégies sont disponibles pour la suite du traitement : *Adapt to position* ou *Adapt to shape*.

Adapt to position (ATP)

Réoptimisation des faisceaux de traitement pour reproduire ou améliorer le plan initial en fonction de la position de la tumeur. Les contours initiaux des structures ne sont pas modifiés. Ce processus est plus rapide et convient lorsque les changements anatomiques sont liés à un déplacement des structures. Puisque la position de la table est fixe pendant le traitement, l'ouverture du faisceau s'adapte à la nouvelle localisation de la maladie, contrairement à un traitement standard où la position du patient est adaptée à l'ouverture du faisceau.

Adapt to shape (ATS)

Replanification complète du traitement en fonction des changements significatifs de la tumeur et des organes avoisinants. Ce processus est plus long, puisque les contours sont déformés, puis modifiés selon l'anatomie du jour, et une nouvelle planification dosimétrique est optimisée.

Considérant la volonté d'utiliser la machine à son plein potentiel, l'option ATS sera privilégiée pour la majorité des cas où les patients recevront des doses quotidiennes élevées et à proximité des organes à risque. L'intégration de l'IRM dans le processus de traitement quotidien du patient permet, pour les cas ciblés, d'obtenir une meilleure visualisation des structures, contrairement à l'imagerie conventionnelle de type CBCT (*Cone-Beam Computed Tomography*). La qualité des images CBCT est affectée par la présence d'artéfacts causés par les mouvements volontaires ou involontaires du patient (ex. : respiration ou péristaltisme) ainsi que par la présence d'air dans le système digestif. Les pathologies situées dans le thorax et l'abdomen sont davantage affectées par ces perturbations. Les séquences d'IRM peuvent également être touchées par des artéfacts similaires, mais leur impact est généralement corrigible, ce qui permet d'obtenir une qualité d'image supérieure et une visualisation plus précise des structures anatomiques.

Après l'acquisition de l'image prétraitement et la décision du type de planification à utiliser, l'ensemble des contours nécessaires peuvent être refaits et un nouveau plan dosimétrique peut être généré selon l'anatomie du jour. En parallèle, une 2^e séquence d'IRM est acquise pendant l'optimisation du plan pour confirmer le positionnement du patient et pour s'assurer que l'anatomie corresponde toujours à celle de l'image IRM prise en début de séance.

Le traitement peut débuter lorsque les vérifications sont complétées et que le plan de traitement est jugé adéquat. La surveillance en direct du traitement se fait par un logiciel consacré à l'IRM-Linac Unity, nommé *Comprehensive Motion Management (CMM)*.

Pendant le traitement, le logiciel prend en moyenne quatre images par seconde pour produire deux séquences de type « ciné » dans les plans de vue axial, coronal ou sagittal. Il est donc possible de surveiller en direct le déplacement du volume-cible ainsi que des organes avoisinants. Grâce à un algorithme prédictif de gestion des mouvements ainsi qu'à des paramètres déterminés par l'équipe de planification, le logiciel contrôle la délivrance de la radiation et se charge d'interrompre le faisceau si des mouvements sont détectés.

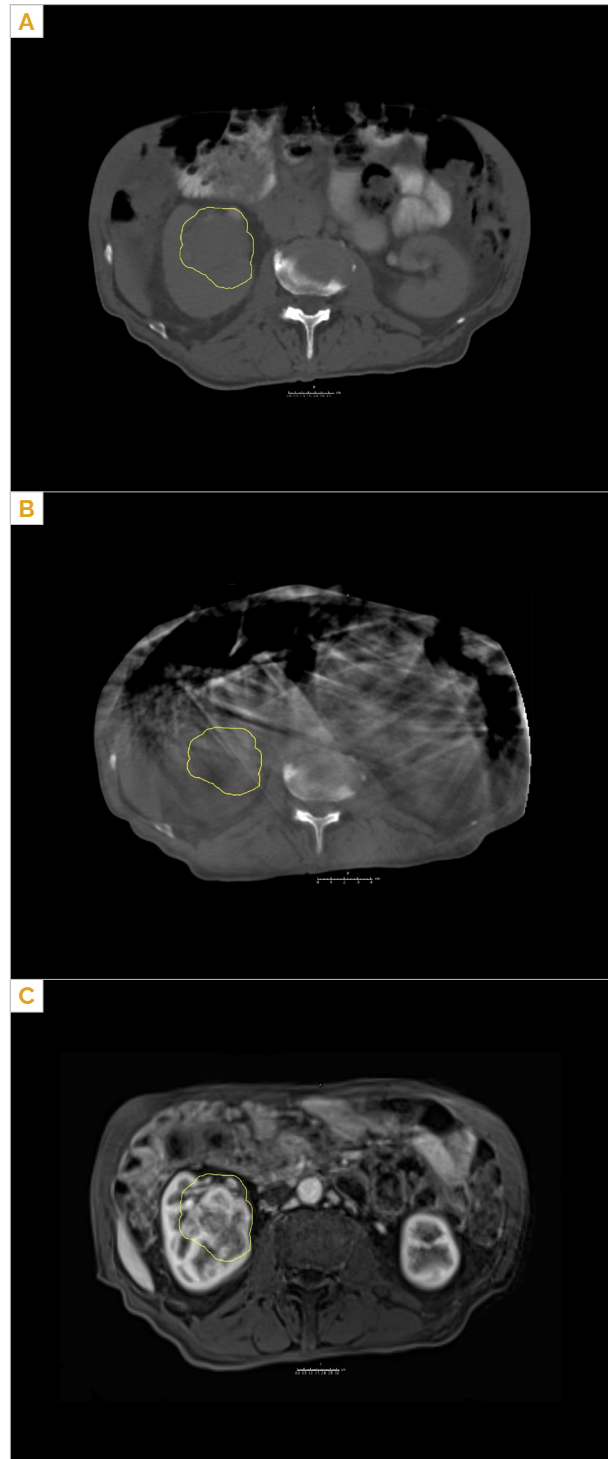


Figure 3 : Différence de visualisation des structures selon le type d'image acquis. **A :** TDM average 0-90, **B :** CBCT. **C :** IRM_T1_Vibe_C+.

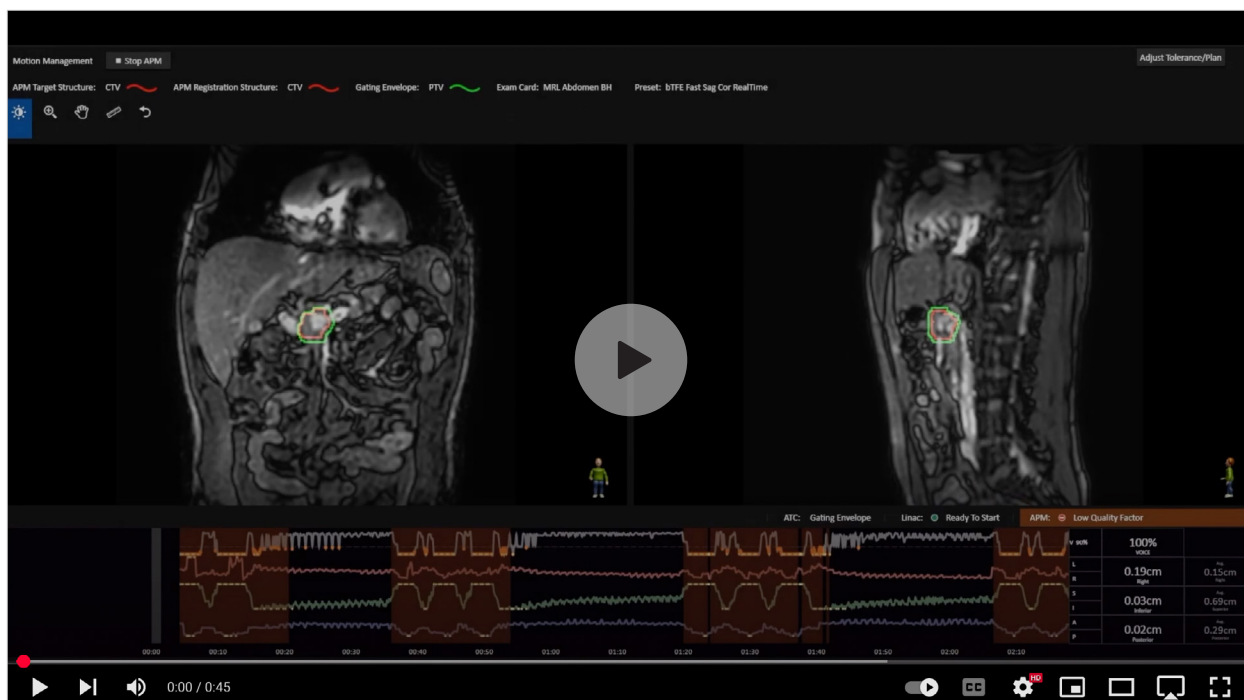


Figure 4

CMM propose quatre stratégies de gestion du mouvement lors du traitement :

Respiration libre Expiration	Le patient respire normalement, mais le traitement n'est administré que lorsque le patient est en expiration. Cette stratégie est comparable à un asservissement respiratoire utilisant les phases 30-60.
Respiration libre Moyenne	Le patient respire normalement, mais la radiation est retenue si l'amplitude du mouvement de la lésion est supérieure à la planification initiale. Un contour de type internal target volume (ITV) est nécessaire afin de s'assurer de la position de la maladie.
Respiration bloquée	Le patient doit bloquer sa respiration à une amplitude précise pour que le faisceau de radiation soit activé. Lorsque le patient reprend une respiration normale, la radiation est interrompue.
Mouvement non respiratoire	Pour les tumeurs non affectées par le mouvement respiratoire, le traitement est administré en continu, et un mouvement aléatoire de la lésion ou du patient provoque une interruption de la radiation.

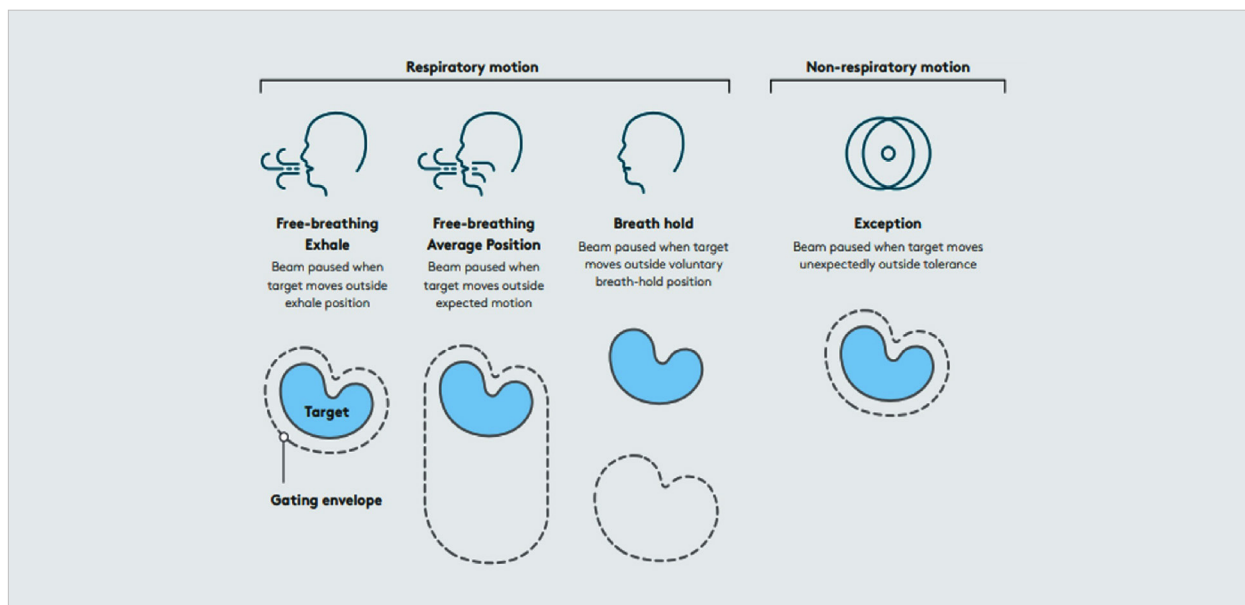


Figure 5 : *Comprehensive Motion Management strategies.*

En plus de ces différentes stratégies, une ceinture de compression peut également être utilisée pour limiter les mouvements internes et ainsi diminuer le volume de la région traitée.

Pour réaliser un processus adaptatif fluide, la collaboration au sein de l'équipe multidisciplinaire responsable du traitement est primordiale. Au total, deux technologues en radio-oncologie, un médecin médical et un radio-oncologue sont présents au poste de contrôle pendant la séance. Chaque membre de l'équipe doit accomplir ses tâches au moment opportun, et la communication doit être favorisée afin de s'assurer du suivi de chaque étape par tous. Puisque une replanification quotidienne est effectuée, le nombre de patients traités est limité. La visée clinique initiale est de 2 à 4 patients par jour, avec l'objectif de monter graduellement vers 8 à 10 patients, après quelques mois d'utilisation de l'appareil. En fonction des besoins du département, de l'ouverture de nouveaux protocoles de recherche et de l'élargissement des indications cliniques de la radiothérapie adaptative, il sera primordial d'augmenter la quantité de patients traités sur l'IRM-Linac ainsi que la diversité des pathologies ciblées. Pour atteindre ces objectifs et optimiser la prise en charge des patients sur l'IRM-Linac, il est essentiel de développer l'expertise des différents intervenants dans les étapes d'adaptation du traitement. En effet, c'est en améliorant l'efficacité dans la segmentation des structures et dans l'optimisation du processus dosimétrique

que le temps de planification sera réduit et, par le fait même, la durée de la séance totale.

Intégration des technologies IRM et LINAC : défis techniques

L'intégration de l'IRM et du LINAC dans un même appareil présente plusieurs défis techniques complexes. En effet, l'IRM utilise des champs magnétiques puissants pour produire des images de haute résolution, tandis que le LINAC emploie des ondes électromagnétiques pour accélérer les électrons et générer un faisceau de radiation. Les interférences entre les deux peuvent affecter la qualité des images et le bon fonctionnement du LINAC. Pour résoudre ces problèmes, une cage de Faraday de forme particulière a été développée pour isoler l'accélérateur du système d'imagerie par résonance magnétique. Un blindage magnétique composé de mu-métal a également été disposé autour du guide d'onde d'accélération. Le mu-métal est un alliage caractérisé par une perméabilité magnétique très élevée. Cette caractéristique lui permet de réduire l'influence du champ magnétique sur l'accélérateur. De plus, des algorithmes de correction en direct ajustent la trajectoire et l'intensité du faisceau, garantissant ainsi une précision optimale, même en présence du champ magnétique de l'IRM.

La présence du champ magnétique de la composante IRM pose également des problèmes quant au

dépôt de la dose dans le patient, en appliquant une force sur les électrons secondaires produits par le faisceau. Ce phénomène est appelé force de Lorentz et il entraîne une perturbation de la distribution de la dose selon la courbure des lignes du champ magnétique. Il y a une augmentation de la dose en périphérie de la zone d'irradiation et une diminution de la dose en son centre. Par un phénomène de rétrodiffusion des électrons dans un champ magnétique, une hausse de la dose est constatée à la jonction de tissus de densités différentes, comme les tissus mous et les tissus pulmonaires. L'algorithme Monte Carlo du système de planification de traitement Monaco prend en considération ces effets afin de calculer précisément la distribution de la dose pendant la planification du traitement.

Infrastructure nécessaire à l'unité d'IRM-Linac

L'IRM-Linac nécessite des considérations d'aménagement particulières pour gérer le risque lié à la présence du champ magnétique. Les dimensions de la salle ainsi que la position de l'appareil ont été déterminées afin de s'assurer que la ligne de cinq gauss du champ magnétique soit contenue à l'intérieur de la

salle, puisque c'est approximativement à partir de cette valeur qu'il y a un risque d'endommager des dispositifs électroniques. De plus, la configuration des lieux a été réfléchie pour permettre une gestion sécuritaire de l'accès à la salle de l'aimant. En parallèle, un bunker de radioprotection est installé autour du Linac pour absorber les rayonnements ionisants et protéger les personnes contre les émissions de radiation.

Conclusion

L'introduction de la technologie IRM-Linac au CHU de Québec — Université Laval représente un tournant majeur dans l'évolution de la radiothérapie. Bien que cette technologie soit actuellement en transition entre la phase de développement et son utilisation clinique, elle promet une amélioration de la qualité des traitements en offrant une visualisation précise des tumeurs et, possiblement, une réduction des toxicités chez les patients. En tant que centre universitaire, le CHU de Québec — Université Laval s'engage à participer à l'évaluation de l'impact de l'IRM-Linac sur le système de santé québécois. À terme, les bénéfices pour les patients devront justifier les investissements en infrastructures et ressources humaines.

REMERCIEMENTS

Merci à nos collègues du CHU de Québec — Université Laval qui nous ont aidés à écrire cet article. Votre contribution et collaboration ont été essentiels à la réalisation de ce projet.

RÉFÉRENCES

- 1 – CDA-AMC, « *La radiothérapie guidée par l'imagerie par résonance magnétique (IRM) : simulateur-IRM et IRM-linac* », 27 septembre 2018.
- 2 – Frontiers in Oncology, Department of Radiation Oncology, National Cancer/Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing, China, « *Impact of Magnetic Field on Dose Distribution in MRGuided Radiotherapy of Head and Neck Cancer* », 7 septembre 2020.
- 3 – INESSS, « *Utilisation des accélérateurs linéaires avec imagerie par résonance magnétique (IRM) embarquée pour les traitements de radiothérapie guidée par l'IRM en temps réel* », septembre 2019.
- 4 – IPeM, Institute of Physics and Engineering in Medicine, « *Passive magnetic shielding in MRI-Linac systems* », 26 mars 2018.

- 5 – Physics in Medicine & Biology, « *Integrating a MRI scanner with a 6 MV radiotherapy accelerator: dose increase at tissue-air interfaces in a lateral magnetic field due to returning electrons* », mars 2005.

- 6 – ScienceDirect, Department of Radiotherapy, University Medical Center, Utrecht, The Netherlands « *Adaptive radiotherapy: The Elekta Unity MR-linac concept* », juillet 2019.

- 7 – National Library of Medicine, « *Elekta Unity MR-linac commissioning: mechanical and dosimetry tests* », novembre 2022.

- 8 – Physics World, « *Elekta Unity: CMM innovation opens the way to real-time tracking, online plan adaptation* », février 2024.

FIGURES

- 1 – *Elekta Image Bank*, MR/RT, Manuel d'utilisateur Elekta Unity
- 2 – Banque de photos de l'auteur.
- 3 – University of Iowa Health Care, Holden Comprehensive Cancer Center « *MR-linac Comprehensive Motion Management* », Youtube.
- 4 – Elekta Unity Comprehensive Motion Management — Explained.

Radio-oncologie : les avantages de l'utilisation du système C-RAD la radiothérapie guidée par surface

**LA RADIOTHÉRAPIE GUIDÉE PAR LA SURFACE (SGRT) PERMET
UNE SURVEILLANCE CONTINUE DE LA POSITION DU PATIENT,
AMÉLIORANT AINSI SA SÉCURITÉ ET SON CONFORT**

Contexte et besoin clinique

En 2020, le CISSS de Laval allait faire l'acquisition de son cinquième accélérateur linéaire, et nous avions l'opportunité de nous procurer une technologie qui allait nous permettre de faire de la radiothérapie guidée par la surface (SGRT), du DIBH ainsi que d'autres types de traitements qui nécessitaient un contrôle de la respiration. Nous avons analysé les différents systèmes sur le marché, qui viendraient répondre à nos besoins cliniques, et c'est C-RAD que nous avons décidé d'acheter.

Avant l'arrivée de C-RAD, nous avions le système Anzai Respiratory Gating System. Ce système sert principalement à faire l'acquisition de la tomodensitométrie de planification en 4D.

Avec Anzai, il fallait mettre une ceinture autour de l'abdomen du patient pour que le système capte la respiration (figure 1). Selon la morphologie du patient, il arrivait que le système eût de la difficulté à capter

la respiration. Il pouvait arriver qu'on laissât tomber notre examen de TDM en 4D, car les données de respiration n'étaient pas assez reproductibles.

De plus, l'utilisation de la ceinture pour le 4D lors de l'examen de tomodensitométrie de planification rendait parfois certaines marques de positionnement moins précises, puisque la ceinture n'était pas présente pour les traitements.

Pour les traitements de radiothérapie, nous n'avions aucun moyen de faire le suivi de la surface ou de la respiration du patient. Pour nous, une technologie permettant de faire cela était nécessaire à l'implantation des techniques de traitement plus avancées, comme le SBRT du poumon ou le SRS pour le traitement des métastases cérébrales.

La technologie C-RAD

La radiothérapie guidée par la surface utilise une technologie qui permet de faire le suivi



Jennifer Tremblay
t.r.o.

*Assistante cheffe
du Service de
radio-oncologie
Hôpital de la Cité-
de-la-Santé*



Figure 1: Ceintures Anzai.

de la surface du patient pour améliorer la précision du traitement. La surveillance en temps réel permet d'interrompre le traitement temporairement jusqu'à ce que la position adéquate soit reprise. Ceci assure une plus grande précision et qualité du traitement. La SGRT permet également de traiter des zones anatomiques où les mouvements sont fréquents (p. ex : poumons/respiration).

À l'examen TMD de planification, c'est le système Sentinel de C-RAD qui est utilisé (figure 2); en salle de traitement, on recourt au Catalyst+ HD. Sentinel est muni d'une seule caméra aux pieds du patient. Il utilise le principe de stéréophotogrammétrie. Il est composé d'une lumière (sous forme de laser) qui sert à examiner la surface du patient. En utilisant un principe de triangulation, le système parvient à reconstruire la surface du patient en une représentation 3D.

Le système Catalyst+ HD est muni de trois caméras/détecteurs. Tout comme le Sentinel, le système Catalyst+ HD utilise le principe de stéréophotogrammétrie. Le fait d'avoir trois caméras permet une meilleure précision dans la localisation de la surface et procure moins de risques d'obstructions (statif, panneaux d'imagerie, source kV).

Dans Catalyst+ HD, il y a différents modules. Premièrement, nous avons le « C-Position », qui compare la surface du patient en temps réel avec la surface de référence et nous indique les correctifs à apporter au positionnement (figure 3).

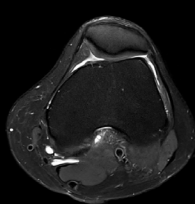
Il y a aussi les modules « C-Motion » et « C-Respiration ». « C-Motion » surveille la surface du patient pendant le traitement et l'imagerie. Il peut interrompre le faisceau si le patient bouge. « C-Respiration » surveille la respiration et contrôle également le faisceau.

La technologie du système C-RAD permet de faire le suivi et la surveillance du patient pendant le positionnement et le traitement. C'est un outil supplémentaire pour guider le positionnement en salle de traitement. Il est non invasif et n'augmente pas la dose administrée. Les méthodes traditionnelles nécessitent souvent la fabrication d'accessoires d'immobilisation plus gros ou plus rigides. L'utilisation de cette technologie permet également d'améliorer le confort du patient et, par conséquent, sa facilité à garder la position pendant le traitement.

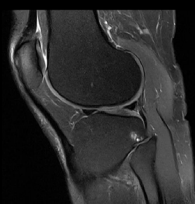
Deep Resolve Boost et SMS TSE

Notre examen du genou le plus rapide à 1,5 T est désormais encore plus rapide

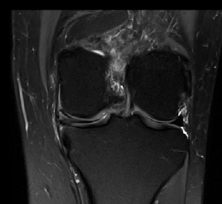
[Cliquez ici pour en apprendre davantage](#)



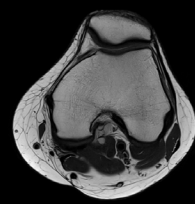
PD TSE fs
TAP3 SMS2 DRB DRS
0,3 x 0,3 x 3 mm³
TA : 1 min



PD TSE fs
TAP3 SMS2 DRB DRS
0,3 x 0,3 x 3 mm³
TA : 43 s



PD TSE fs
TAP3 SMS2 DRB DRS
0,3 x 0,3 x 3 mm³
TA : 50 s



PD TSE
TAP3 SMS2 DRB DRS
0,3 x 0,3 x 3 mm³
TA : 36 s

Une innovation unique au Québec : un système de lumières au plafond pour guider le patient pendant sa respiration.

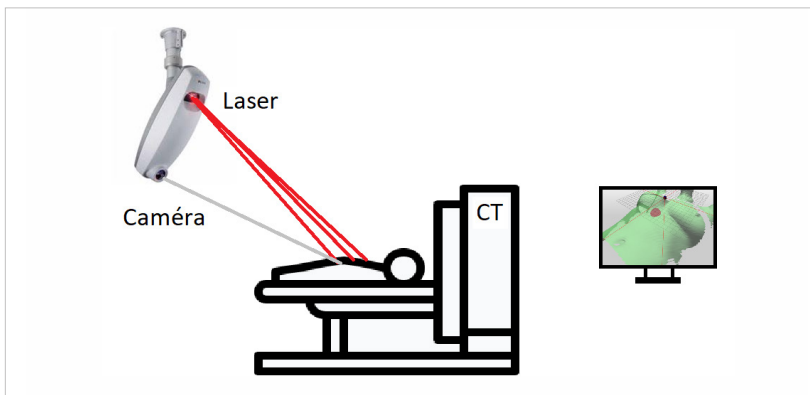


Figure 2 : Sentinel à l'examen par TMD de planification.



Figure 3 : Module C-Position de C-RAD.

Le processus d'implantation au CISSS de Laval

L'installation de C-RAD au Centre intégré de cancérologie de Laval (CICL) nécessitait la fermeture d'un de nos deux tomodensitomètres de planification. Le lieu où C-RAD serait installé est celui du deuxième, dans notre salle de curiethérapie. Nous avons dû concentrer toutes nos activités de planification et de curiethérapie dans l'horaire d'un seul appareil pendant deux journées afin de permettre l'installation et la mise en service du système.

Pour les salles de traitement, C-RAD était installé en même temps que le cinquième accélérateur linéaire et il n'a pas occasionné la fermeture de cette salle, mais nous voulions avoir une deuxième salle de traitement

comprenant cette même technologie. L'installation de C-RAD dans cette deuxième salle a été faite pendant le weekend, et aucune fermeture de salle de traitement n'a dû avoir lieu.

L'ajout d'une telle technologie est un gros changement pour tous les membres de l'équipe de radio-oncologie. Nous devons prévoir la

formation des différents membres de notre équipe de planification pendant l'installation, puisqu'une fois installé, C-RAD remplacerait Anzai. Un formateur de la compagnie C-RAD est arrivé sur place vers la fin de l'installation, et nous avons pu recevoir de la formation théorique et pratique avant notre premier patient. Le système de C-RAD est très facile à comprendre pour les utilisateurs.

La formation de C-RAD était une étape nécessaire pour intégrer cette technologie dans le flux clinique. Par la suite, nous avons dû déterminer ce que nous voulions conserver de nos apprentissages, car le système nous permet de l'intégrer de différentes manières. Notre objectif était surtout de le faire de manière graduelle pour permettre aux utilisateurs de se familiariser avec le système. Nous avons commencé à utiliser C-RAD comme système de remplacement d'Anzai et, pendant ce temps, cela nous permettait de travailler l'implantation du traitement en inspiration bloquée pour le cancer du sein.

Une innovation unique au Québec : le système de lumières au plafond

Pour les traitements en inspiration bloquée, par exemple, plusieurs options sont disponibles pour guider le patient pendant sa respiration. Il y a les lunettes : le patient met les lunettes sur son visage et, à l'intérieur des lunettes, il voit un carré vert et une barre orangée qui monte et descend en fonction de l'amplitude respiratoire. La deuxième option, c'est l'utilisation d'une tablette qui est installée près du visage du patient. Sur celle-ci, il est possible de voir la même chose qu'avec les lunettes. Au CICL, nous avons opté pour le système de lumières au plafond. Des tuiles au plafond ont été remplacées par les panneaux de lumière. Pendant que le patient inspire, la salle s'illumine en bleu. Lorsque l'inspiration atteint la zone où il faut bloquer, la salle devient alors verte. Si l'inspiration dépasse cette zone, la salle devient orangée (**figure 4**).

Le système de lumières au plafond est avantageux, car il est intégré à la salle et ne nécessite pas d'accessoire supplémentaire. Il est facile à comprendre pour les patients. De leur côté, les lunettes et la tablette peuvent être abîmées ou perdues. Un patient déjà claustrophobe pourrait avoir de la difficulté à tolérer les lunettes ou la tablette près du visage. Le système de lumières au plafond est moins invasif. Peu importe la position du patient, celui-ci peut facilement guider sa respiration, puisque toute la salle est illuminée.

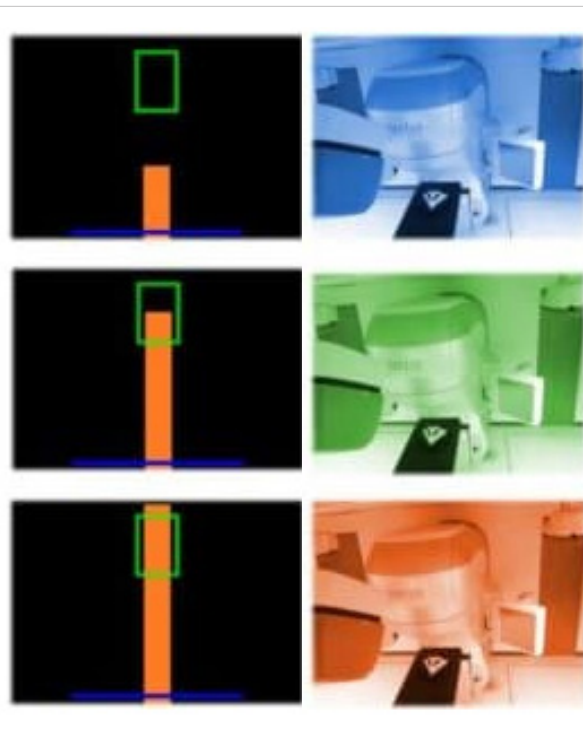


Figure 4 : Visuel des lunettes/tablette versus lumières au plafond.

**Le système
de lumières
au plafond est
moins invasif.**

Avec la facilité d'utilisation du logiciel Sentinel à l'examen de tomodensitométrie de planification, les données de respiration sont plus précises, sans compromettre le confort du patient.

Impacts cliniques et bénéfices pour les patients

Un des impacts cliniques majeurs occasionnés par l'ajout de C-RAD fut de pouvoir offrir des traitements en respiration contrôlée, autant pour le DIBH que pour le SBRT du poumon. Avant l'arrivée de ceux-ci, nous devons recommander les patients à d'autres centres de radiothérapie pour recevoir leurs traitements. Maintenant que nous pouvons les offrir, nous évitons aux patients des délais supplémentaires pour les rendez-vous et des déplacements.

L'utilisation du module C-Position de C-RAD apporte nécessairement une réduction d'images CBCT, puisque les correctifs de positionnement sont capturés par le système et peuvent être effectués avant la prise d'images. Il peut arriver que la morphologie du patient change assez pour rendre le positionnement plus difficile. Les tatouages peuvent être moins stables. L'utilisation de C-RAD permet d'effectuer un positionnement précis, même pour ce genre de situation.

Avec la facilité d'utilisation du logiciel Sentinel à l'examen de tomodensitométrie de planification, les données de respiration sont plus précises, sans

compromettre le confort du patient. Ceci permet de rendre le flux de travail fluide.

Une technologie comme celle de C-RAD améliore la précision et, par le fait même, la sécurité des traitements. La SGRT permet une surveillance continue de la position du patient, améliorant ainsi sa sécurité et son confort. C'est un outil efficace pour réduire la durée du traitement et minimiser la dose d'imagerie. Son utilisation facilite l'administration de doses élevées aux volumes cibles, tout en limitant celles-ci aux tissus sains.

Perspectives et avenir de cette technologie

Dans les mois à venir, nous envisageons de mettre en place le SRS pour le traitement de métastases cérébrales, ainsi que le SBRT pour le cancer de la prostate. Il y a aussi à prévoir au cours des prochaines années le remplacement de certains de nos accélérateurs linéaires. Il est envisagé d'ajouter C-RAD à d'autres salles de traitement, lorsque ces travaux auront lieu.

Comme projet pour l'avenir, je pense qu'on pourrait envisager l'élimination des tatouages de

positionnement pour certains sites anatomiques. Certains centres au Québec ont commencé à le faire. L'élimination des tatouages serait un gros avantage pour les patients, car se faire faire plusieurs tatouages peut s'avérer douloureux. De plus, il y aurait aussi une amélioration esthétique.

Une technologie comme celle de C-RAD devrait devenir un standard au Québec, puisque, comme vous avez pu le constater, elle procure de nombreux avantages. Il s'agit d'un système non invasif, facile d'utilisation, qui augmente la précision du traitement en assurant une surveillance en continu de la position du patient ou de sa respiration.

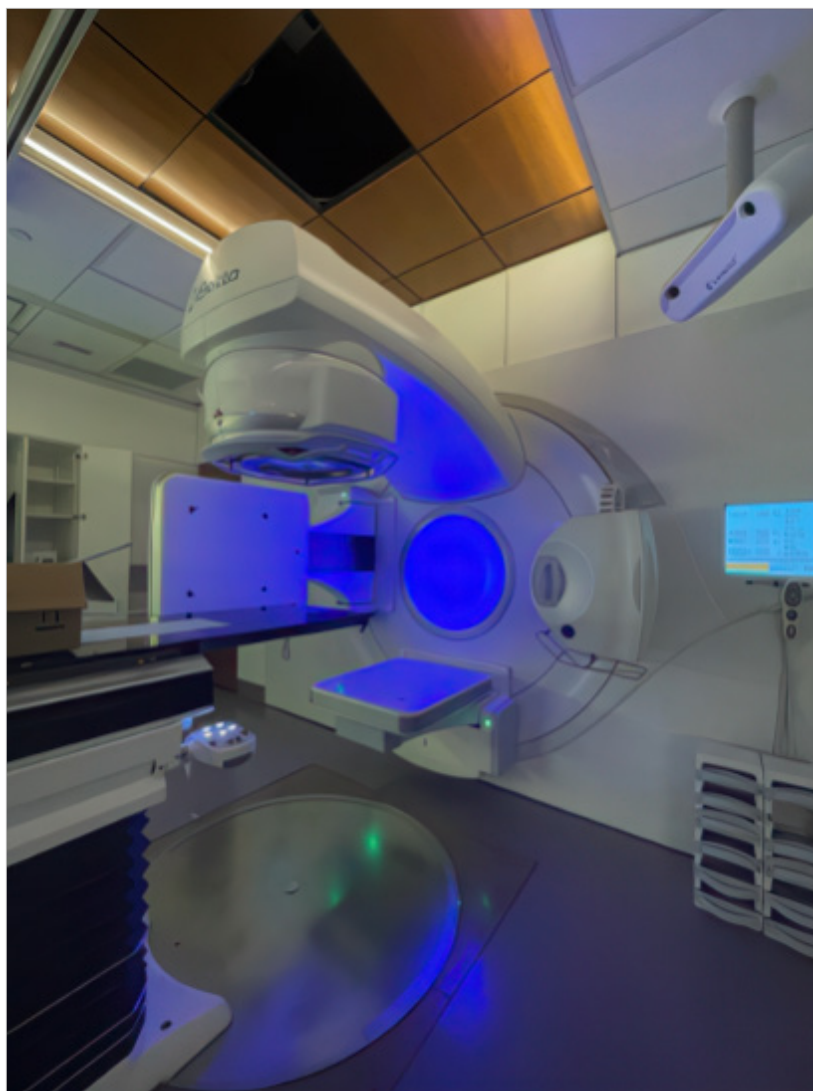


Figure 5 : Salle de traitement 4 avec Catalyst HD+.

RÉFÉRENCES

- 1 – C-RAD, « *The Value of SGRT for everyday clinical practice* », 2025, consulté le 2025-03-01.
- 2 – ESTRO, « *Melis Gençtürk - Value of the Use of Surface-Guided Radiation Therapy in Radiation Oncology – RTT Corner* », 2023, consulté le 2025-02-27.

FIGURES

- 1 à 5 – Banque de photos du CIUSSS Laval.



Électrophysiologie
médicale

Évolution technologique : l'intelligence artificielle de demain au service de l'électrophysiologie d'aujourd'hui !

Aujourd'hui, le manque de main-d'œuvre dans le domaine de la santé au Québec est une réalité indéniable, et ce, dans chaque profession. Alors que la population vieillissante ne cesse de croître, la main-d'œuvre active, elle, se raréfie, mettant une pression accrue sur notre système de santé. Cette situation exige des solutions innovantes pour assurer une prise en charge efficace des patients, tout en optimisant les ressources disponibles. L'ECG étant utilisé par divers professionnels de la santé, il existe un risque accru de passer à côté d'une interprétation importante, surtout quand « ça déborde » et que le manque de temps incite à se fier aux résumés automatiques, ce que beaucoup font et qui peut parfois être imprécis. C'est dans ce contexte que l'intelligence artificielle (IA) émerge comme étant une nouvelle option technologique qui se voit très prometteuse, particulièrement en électrophysiologie, où elle permet d'améliorer la précision des diagnostics, d'accélérer l'analyse des tracés ECG et de faciliter le suivi personnalisé des patients.

Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ?

L'intelligence artificielle (IA) désigne un ensemble de technologies qui permettent aux machines d'exécuter des tâches normalement réservées à l'intelligence humaine, comme l'apprentissage, la reconnaissance de motifs et la prise de décisions. Elle repose sur des algorithmes qui analysent d'énormes quantités de données pour en extraire des tendances et faire des prédictions.

Dans le domaine de l'électrophysiologie médicale, l'IA est utilisée pour automatiser l'interprétation des signaux électriques du corps, comme dans l'électrocardiogramme (ECG). Par exemple, on l'utilise pour les comparer à un diagnostic précis à partir d'une grande base de données, mettant en scène plusieurs tracés ECG qui se regroupent dans la même catégorie. L'IA analyse les tracés et aide à détecter plus rapidement et avec plus de précision des anomalies cardiaques, ce qui améliore la prise en charge des patients et réduit



Rebecca Gaspard
t.e.p.m.

*Institut de
Cardiologie
de Montréal*

la charge de travail des professionnels de la santé. L'IA, c'est un peu comme si on repassait plusieurs fois sur un même dessin de différentes manières pour voir quels traits reviennent le plus souvent. Ça permet de repérer les formes principales. Pour un ECG, l'IA va repérer les tracés qui reviennent le plus souvent et d'autres informations, pour donner un diagnostic ou une prédiction.

Avantages et inconvénients à prévoir avec l'IA

1. Précision et rapidité marquées

L'IA analyse rapidement de grandes quantités de données électrophysiologiques (ECG) et détecte des anomalies subtiles qui pourraient être manquées par un humain, surtout par du personnel qui n'est pas assez formé pour reconnaître des tracés urgents.

Elle réduit le risque d'erreurs d'interprétation, ce qui améliore le diagnostic et la prise en charge des patients, peu importe le personnel de la santé qui exécutera l'examen.

2. Optimisation de la télésurveillance

Grâce aux algorithmes intelligents, les dispositifs portables et les systèmes de télémedecine peuvent surveiller les patients en continu et alerter le personnel en cas d'anomalie critique.

3. Réduction de la charge de travail

Face au manque de main-d'œuvre dans le secteur de la santé, l'IA peut compenser en prenant en charge certaines analyses et en réduisant le temps nécessaire pour poser un diagnostic.

4. Intégration avec les dossiers médicaux électroniques (DME)

Centralisation des données : la communication fluide entre les plateformes de télésurveillance et les DME facilite un suivi des patients plus efficace et une prise de décision éclairée.

Comme rien n'est parfait, voici quelques points à surveiller en utilisant l'IA.

Inconvénients :

■ Dépendance aux données et biais algorithmiques :

L'IA dépend de la qualité des données qu'elle analyse. Des bases de données biaisées ou incomplètes peuvent entraîner des erreurs de diagnostic.

■ Perte de compétence humaine :

Une automatisation excessive pourrait réduire l'expertise clinique des professionnels, les rendant trop dépendants des outils d'IA.

■ Coût et accessibilité :

Le développement et l'intégration de l'IA dans les systèmes hospitaliers nécessitent des investissements importants, ce qui peut limiter son accès dans certaines régions ou certains établissements de santé.

■ Problèmes éthiques et responsabilité légale :

En cas d'erreur, il peut être difficile de déterminer la responsabilité entre le concepteur de l'algorithme, l'utilisateur (technologue, médecin) et l'établissement de santé.

L'IA analyse les tracés et aide à détecter plus rapidement et avec plus de précision des anomalies cardiaques, ce qui améliore la prise en charge des patients et réduit la charge de travail des professionnels de la santé.

■ Sécurité et confidentialité des données :

L'utilisation de l'IA implique la collecte et l'analyse de données sensibles. Une mauvaise gestion peut poser des risques de fuite ou de piratage d'informations médicales.

L'IA apporte des avancées majeures en électrophysiologie, rendant les analyses plus rapides et plus précises, tout en améliorant la surveillance des patients. Toutefois, son intégration doit être encadrée pour éviter une dépendance excessive, garantir la sécurité des données et minimiser les biais. L'équilibre entre automatisation et supervision humaine sera essentiel pour maximiser ses bénéfices tout en préservant l'expertise clinique.

Début de l'utilisation de l'IA à l'Institut de Cardiologie de Montréal

À l'Institut de Cardiologie de Montréal (ICM), Dr Robert Avram joue un rôle clé dans l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) en électrophysiologie. Ses travaux se concentrent sur l'utilisation de l'IA pour améliorer le diagnostic et la prédiction des arythmies cardiaques.

En 2024, Dr Robert Avram a mené une étude analysant plus d'un million d'électrocardiogrammes (ECG) de patients de plusieurs centres hospitaliers. Il a développé un algorithme capable de prédire, à partir d'un ECG de 10 secondes, la probabilité qu'un patient développe une fibrillation auriculaire dans les cinq années à venir. Cette approche permet d'identifier les patients à risque avant l'apparition des symptômes,

améliorant ainsi la prévention et la gestion des arythmies. La fibrillation auriculaire reste l'arythmie la plus commune chez les adultes; avec cette arythmie, le risque d'accident vasculaire cérébral est accru. L'opinion clinique du cardiologue reste primordiale, puisque ce système ne contient pas tous les examens médicaux et informations de chaque patient. Un système pour ce faire demanderait une base de données de très grand volume. La combinaison de l'IA et de l'analyse du cardiologue est nécessaire, et selon certains critères cliniques, il est possible de prédire la fibrillation chez un patient.

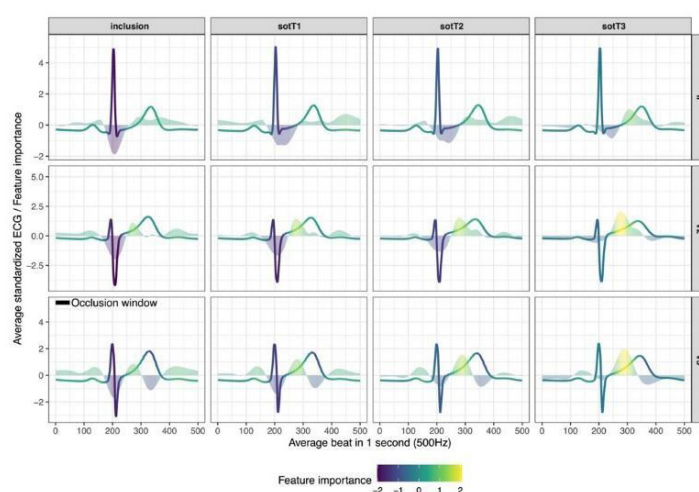


Figure 1 : Représentations du comportement de l'intelligence artificielle de l'ECG. Deux formes de visualisation du comportement du modèle d'apprentissage profond de l'intelligence artificielle (IA) de l'ECG. A, Carte de saillance de l'ECG-AI délimitant les régions de la forme d'onde ECG ayant la plus grande influence sur les prédictions de risque de fibrillation auriculaire (FA). Les teintes bleues représentent l'ampleur du gradient du risque de FA prédit par rapport à l'amplitude de l'onde ECG, tandis que les teintes plus foncées illustrent les régions de l'onde exerçant une plus grande saillance, ou une plus grande influence sur les prédictions du risque de FA. La moyenne de la saillance a été calculée sur un échantillon aléatoire de 4096 individus de l'ensemble de test du Brigham and Women's Hospital (BWH). La forme d'onde rouge représente la forme d'onde médiane dans chaque dérivation parmi les 4 096 individus. B, Forme d'onde médiane d'un échantillon aléatoire de 1 000 individus de l'ensemble de test BWH présentant un faible risque prédit de FA (c'est-à-dire un risque de FA à 5 ans <2,5 %, vert) par rapport à la forme d'onde médiane d'un échantillon aléatoire de 1 000 individus de l'ensemble de test BWH présentant un risque prédit de FA élevé (c'est-à-dire un risque de FA à 5 ans >5 %, rouge).

Le Dr Avram est également reconnu pour ses contributions à l'IA en cardiologie interventionnelle. Il a dirigé des projets, tels que DeepECG et DeepCoro, visant respectivement à automatiser l'interprétation des électrocardiogrammes et des angiographies coronariennes. Ces innovations facilitent la détection précoce des maladies cardiovasculaires et optimisent les décisions thérapeutiques.

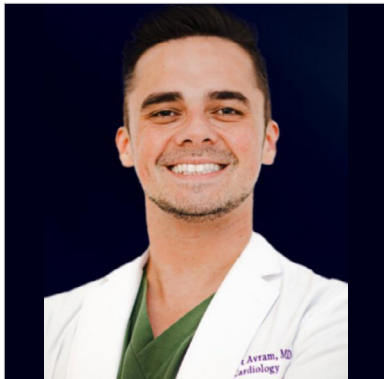


Figure 2 : Dr Robert Avram, Cardiologue interventionnelle à l'institut de cardiologie de Montréal.

Par ailleurs, le Dr Avram a été honoré en novembre 2024 par le Prix Linnemeier du jeune chercheur lors du congrès Transcatheter Cardiovascular Therapeutics (TCT) à Washington. Cette distinction souligne ses contributions exceptionnelles à la recherche cardiovasculaire, notamment dans l'intégration de l'IA en cardiologie interventionnelle.

L'engagement de Dr Avram dans l'application de l'IA en électrophysiologie à l'ICM illustre une avancée significative vers des soins cardiaques plus précis et personnalisés.

Conclusion

L'intelligence artificielle transforme progressivement le domaine de l'électrophysiologie, en particulier

à l'Institut de Cardiologie de Montréal (ICM), où des experts comme le Dr Robert Avram jouent un rôle clé dans sa conception et son intégration dans la prédiction d'une fibrillation auriculaire chez un patient, au cours des prochaines années. Grâce à l'IA, l'analyse des électrocardiogrammes (ECG) devient plus rapide et plus précise, permettant de détecter des arythmies avant même l'apparition des symptômes. Ces avancées améliorent le diagnostic, la télésurveillance et la prise en charge des patients, tout en réduisant la charge de travail des professionnels de la santé. Le système d'interprétation automatique des ECG est assez précis, mais pas infallible. Une étude québécoise, selon les ECG faits au triage de l'Hôpital Charles-Le Moyne, a montré que 97,8 % des ECG normaux détectés par un logiciel IA étaient bien interprétés, mais que 0,29 % des patients avaient des anomalies cliniquement importantes manquées. Une autre étude a révélé que les systèmes automatiques détectaient correctement 73,5 % des infarctus STEMI, laissant 26,5 % des cas non identifiés.

L'intégration de l'IA soulève encore des défis par sa nouveauté, notamment en matière d'éthique, de sécurité des données et de coût d'implantation dans le système de santé québécois. Malgré ces obstacles, son potentiel pour optimiser les soins et compenser le manque de main-d'œuvre est immense. L'avenir de l'électrophysiologie repose donc sur un équilibre entre technologie et expertise humaine, afin d'offrir des soins toujours plus efficaces et personnalisés.



Figure 3 : Dr Robert Avram, Cardiologue interventionnelle à l'institut de cardiologie de Montréal.

RÉFÉRENCES

- 1 – IRD, *DeepECG4U : l'intelligence artificielle au service de la santé cardiaque*, 21 juin 2021, consulté le 20 février.
- 2 – Fondation Suisse de Cardiologie, *L'intelligence artificielle pour soigner le cœur ?* 15 février 2024, consulté le 20 février.
- 3 – Robert Avram, *Applications of Artificial Intelligence in Cardiology*, consulté le 20 février.
- 4 – Robert Avram, *Un jeune cardiologue montréalais qui se spécialise en intelligence artificielle honoré à un prestigieux congrès américain*, consulté le 20 février.
- 5 – HeartWise.AI, *Tirer parti des solutions d'IA pour les soins cardiaques*, consulté le 20 février.
- 6 – lcm-mhi.org/repertoire-employes/robert-avram/ Seongsoo Kim, Wonhee Kim, Gu Hyun Kang, Yong Soo Jang, Hyun Young Choi, Jae Guk Kim, Yoonje Lee, Dong Geum Shin.

7 – *Analysis of the accuracy of automatic electrocardiogram interpretation in ST-segment elevation myocardial infarction*, National Library of Medicine, 31 mars 2022, consulté le 20 février.

8 – *Safety and accuracy of the computer interpretation of normal ECGs at triage*, National Library of Medicine, 15 nov. 2024, consulté le 20 février.

FIGURES

1 – Shaan Khurshid, MD, MPH, Samuel Friedman, PhD, Christopher Reeder, PhD, Paolo Di Achille, PhD, Nathaniel Diamant, BS, Pulkit Singh, BA, Lia X. Harrington, mars 2025.

2 et 3 – Banque personnelle du Dr Avram.

CONGRÈS ANNUEL

Hôtel de Mortagne — Boucherville

6-7 JUIN 2025



L'EXPERTISE INTERTECHNOLOGUES

Procédures et techniques combinées
dans le parcours de soins

Joignez-vous à l'événement qui réunira des experts et professionnels pour échanger sur les meilleures pratiques, les innovations et les synergies entre les différentes technologies en santé.

AU PROGRAMME

conférences enrichissantes • ateliers spécialisés • occasions uniques de réseautage

*Le rendez-vous annuel des technologues en imagerie médicale,
en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale !*

RÉSERVEZ VOTRE PLACE DÈS AUJOURD'HUI



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

Profitez de nos **rabais exclusifs**

**Vous renouvelez votre police d'assurance
dans moins de 90 jours ?**



Automobile



Motoneige



Habitation



Véhicule récréatif



Bateau

Appelez-nous pour une soumission dès aujourd'hui !

**Appliquez le
Code Promo
Z00088**

Lussier

Cabinet de services financiers
1 877 543-2960

Lussier.co/OTIMROEPMQ

