

Juin 2020
Volume 40, Numéro 1

échos

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



Intelligence artificielle

Son apport à la profession

Numéro de convention en poste-publication : 40070307



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



La période de candidature aux prix de l'Ordre est ouverte

PRIX DU TECHNOLOGUE ÉMÉRITE

Ce prix est la plus haute reconnaissance de l'Ordre. Il honore un membre qui se distingue par sa contribution soutenue et remarquable à la profession.

PRIX RAYONNEMENT

Ce prix est remis à un technologue ou à un groupe de technologues ayant contribué par leur pratique professionnelle à l'amélioration significative des services et des soins offerts aux patients.

Vous correspondez à ces critères ou connaissez un collègue technologue qui correspond à ces critères? N'attendez plus et faites nous les connaître!

- > Les formulaires de candidatures sont disponibles sur le site de l'Ordre, dans la section *Membres et étudiants/Communications et offres d'emploi/Prix, bourses et distinctions*.
- > La date limite des dépôts de candidature est le 8 septembre 2020.
- > Les récipiendaires seront dévoilés lors de la *Semaine des technologues* en novembre 2020.

BOURSE INNOVATION

Cette bourse vise à soutenir un ou plusieurs membres dans l'accomplissement d'un projet de recherche en lien avec la profession afin d'améliorer de façon continue la qualité des services offerts à la population québécoise.

La Bourse Innovation est remise en partenariat avec La Capitale assurances générales.

Vous avez une idée de projet de recherche? Faites vite une demande de bourse afin d'obtenir le financement nécessaire pour réaliser votre projet.

Obtenez plus de détails concernant la Bourse Innovation en consultant le site de l'Ordre.

Sommaire



Intelligence artificielle Son apport à la profession

Mot de la présidente 4

L'Ordre en mode COVID-19

Au cœur de la pratique 6

Vous avez des questions? Nous avons des réponses!

Radioprotection 8

Désinformation en radioprotection

Déontologie 12

Communication 2.0

En commun 14

L'intelligence artificielle et la transformation des professions dans le secteur de la santé

Quels sont les enjeux pour les professionnels de la santé?

L'intelligence artificielle contre le cancer

Le cancer est l'ennemi public numéro un, et des chercheurs québécois veulent déployer la puissance de l'intelligence artificielle pour le déjouer.

Électrophysiologie médicale 22

Les neurotechnologies au service de l'épilepsie

Des modèles d'intelligence artificielle peuvent désormais prédire lorsqu'une crise épileptique s'amorce.

Radiodiagnostic 26

L'intelligence artificielle au service de l'échographie médicale: une innovation disruptive aux perspectives révolutionnaires pour la santé

L'intelligence artificielle (IA) connaît de grands progrès en imagerie médicale. NHance a été l'une des premières équipes à appliquer l'IA en échographie.

Intelligence artificielle en imagerie

L'intelligence artificielle couvre un domaine des sciences informatiques visant à faire réaliser des tâches par un ordinateur, qui apprend et s'améliore de manière autonome.

Initiation à l'intelligence artificielle...

L'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) dans le milieu médical représente un enjeu majeur pour l'amélioration de la qualité de soins des patients.

Radio-oncologie 42

L'utilisation de l'IRM seule en planification des traitements de radiothérapie de la prostate Sommes-nous prêts?

Présentation d'un projet de recherche sur l'utilisation exclusive des images d'IRM comme images de planification.

Radiothérapie adaptative et intelligence artificielle

Démystifier la radiothérapie adaptative, les rôles de l'intelligence artificielle et la façon dont le travail du technologue en radiothérapie évoluera avec cette nouvelle technologie.

L'ÉchoX, la revue de l'Ordre des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale du Québec, est publiée depuis 1964. Elle est maintenant tirée à 7 150 exemplaires • **COMITÉ DE LA REVUE** Renée Breton, t.r.o. ; Carole Chaumont, t.e.p.m. ; Mohamed Khélifi, t.i.m. • **COLLABORATEURS AU CONTENU** Chantal Asselin, t.i.m.(E) ; Maryse Bélanger, t.r.o. ; Antonio Borrelli ; Alexandra Boucher ; Jean-François Cabana ; Marie-Pier Cloutier, t.r.o. ; Loïc Duron ; Esteban Espinosa Bentancourt, t.i.m. ; Laure Fournier ; Thibaut Duguet ; Gilbert Gagnon, t.i.m.(E) ; Fanny Joujou ; Kamel Khezzane ; Hélène Kovacsik ; Marie-Pier Lagacé, t.r.o. ; Dr Luigi Lepanto ; Marco Lessard, t.r.o. ; Philippe Mercure ; Yves Morel, t.i.m. ; Mélanie Ratelle, t.r.o. ; Anne-Laure Rousseau • **RÉVISION ET CORRECTION** Marie-Johanne Tousignant, M. Ed., Stratégie Rédaction ; Sophie Lecours, t.i.m. • **PUBLICITÉ** Dominic Desjardins, CPS Média Inc., ddesjardins@cpsmedia.ca, 1 866 227-8414 • **ABONNEMENTS ET CHANGEMENTS D'ADRESSE** Caroline Morin, adjointe administrative des affaires professionnelles et juridiques, 514 351-0052, poste 229 • **DESIGN GRAPHIQUE** Bunka • **CARICATURE** François St-Martin ; Marc Bruneau • **IMPRESSION** Solisico • **POLITIQUE D'ABONNEMENT** Les membres et étudiants en dernière année de formation collégiale reçoivent l'ÉchoX trois fois par année. Abonnement offert à 75 \$ par année (plus taxes). • **POLITIQUE ÉDITORIALE** Sauf indications contraires, les textes et les photos publiés n'engagent que les auteurs. Toute reproduction doit mentionner la source, après autorisation préalable de l'Ordre.

6455, rue Jean-Talon Est, bureau 401, Saint-Léonard (Québec) H1S 3E8
514 351-0052 ou 1 800 361-8759 • www.otimroepmq.ca

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

MOT DE LA PRÉSIDENTE



L'Ordre en mode COVID-19

Depuis maintenant plus de trois mois, tout comme vous, l'Ordre s'adapte et vit au rythme de la COVID-19. Je ne peux que reconnaître que ce début de mandat à la présidence a été empreint de défis, mais cela m'aura toutefois permis de saisir rapidement les enjeux et d'apprendre à une vitesse fulgurante. Afin de respecter l'ensemble des directives gouvernementales, l'Ordre a fait face à différentes situations exceptionnelles dans la réalisation de son mandat, soit d'assurer la protection du public.

Dans une telle situation, les enjeux sont nombreux et tous aussi importants les uns que les autres. Les décisions doivent être prises rapidement, au meilleur des informations disponibles à ce moment. C'est donc dans un contexte incertain et changeant que tous les employés de l'Ordre et les administrateurs du Conseil d'administration (CA) ont appris à naviguer et à tirer le meilleur d'eux-mêmes, et ce malgré les aléas du télétravail. Je les remercie, très sincèrement, pour leur disponibilité, leur engagement et pour tout le travail accompli. Bravo!

La place des technologues...

En adaptant la pratique

Il est important pour moi aujourd'hui de revenir sur les principaux enjeux auxquels l'Ordre a dû faire face. En effet, l'application des divers arrêtés ministériels, l'assouplissement de certaines normes et règles (mammographie et échographie), le report ou l'annulation d'événements ont notamment marqué les dernières semaines. Il était donc de mon devoir de vous représenter et d'être votre voix dans ce contexte changeant, tout en étant bien consciente du rôle de l'Ordre en matière de protection du public.

En coordonnant l'organisation des soins

Depuis le tout début de la pandémie, j'ai été appelée à me joindre au *Sous-comité clinique COVID-19 – Imagerie-médicale* du ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS). Le mandat de ce comité est d'assurer une gestion coordonnée du secteur de l'imagerie médicale au Québec en considérant les enjeux et les difficultés observées sur le terrain.

J'ai également eu l'occasion de discuter avec l'équipe de la radio-oncologie du MSSS, via le Programme québécois du Cancer (PQC). Ces rencontres m'ont permis de bien comprendre les nouvelles réalités auxquelles les technologues sont confrontés au quotidien. Cette expérience m'a rendue encore plus fière du travail que vous réalisez, au quotidien, auprès de la population québécoise, et ce, dans des conditions très difficiles. Je souligne à nouveau votre courage et votre détermination qui font de vous de véritables anges gardiens. La population a besoin, plus que jamais, de votre expertise unique et de vos compétences.

Nous avons entendu et nous comprenons vos revendications relatives à une véritable reconnaissance financière de votre travail et nous vous invitons à continuer à faire les représentations nécessaires auprès des instances responsables de cette question.

En se mettant en mode solution

De nombreux échanges et rencontres ont été nécessaires avec les instances gouvernementales afin d'assurer la mise en application des diverses mesures décrétées par les arrêtés ministériels du MSSS. Pensons simplement, à la définition des critères pour l'autorisation spéciale aux étudiants, en situation de crise sanitaire, pour effectuer certaines activités de notre profession. À ce jour, 207 autorisations spéciales ont été délivrées par l'Ordre. Un processus permettant le retour au travail des retraités de la profession a également été mis en place.

Des communications régulières avec les représentants du MSSS et du ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur (MEES) ont permis d'identifier diverses problématiques relatives à la planification de la main-d'œuvre. Il fallait notamment composer avec le fait que la formation des étudiants ait été suspendue et que la diplomation des finissant(e)s s'avérait incertaine.

L'Ordre adapte aussi ses pratiques

Cette pandémie aura également eu des impacts importants sur le fonctionnement même de notre Ordre. Plusieurs décisions ont été prises afin de s'adapter à la réalité COVID-19. Certaines de ces mesures ont dû faire l'objet de discussions avec l'Office des professions du Québec (OPQ). Je pense ici :

- au report du paiement de la cotisation;
- au report des élections des administrateurs du CA qui, par règlement, devaient être en mai et qui auront lieu en octobre;
- au cheminement d'un nouveau règlement permettant la mise en place de candidats à l'exercice de la profession (CEP) pour chacun de nos domaines d'exercice (CEPTIM, CEPTRO, CEPTPEM).

S'adapter pour mieux évoluer

En conclusion, les circonstances dans lesquelles nous sommes plongées depuis maintenant plusieurs

Afin d'avoir une image plus complète des mesures prises depuis le début de la pandémie et d'être informé des derniers développements, je vous invite à visiter régulièrement le site de l'Ordre au : www.otimroepmq.ca/coronavirus-covid-19 ainsi que la Foire aux questions (FAQ) où vous retrouverez certainement les réponses à plusieurs de vos préoccupations.

semaines sont exceptionnelles et sans précédent. Une crise sanitaire qui nous aura apporté son lot de réflexions, de questionnements, de transformations et de choix difficiles. Le moins que l'on puisse dire, c'est que la COVID-19 nous aura obligés à penser différemment et à faire les choses autrement. Sur une note d'espoir, je suis certaine que plusieurs de ces nouvelles façons de faire survivront à la pandémie et nous permettront de nous améliorer. Je souhaite que nous puissions retenir quelques aspects positifs de cette crise et des événements que nous aurons vécus.

Cette édition de l'ÉchoX porte justement sur une autre transformation, soit celle de l'Intelligence artificielle. Une nouvelle réalité qui sera déterminante pour nos professions et qui entrainera de grands

changements dans notre quotidien. Nous suivrons, pour vous, ce développement et nous aurons très certainement l'occasion d'en reparler prochainement.

D'ici là, je vous souhaite une bonne lecture, mais surtout prenez soin de vous et de vos proches. Je tiens à vous remercier encore une fois, chers collègues technologues, d'être présents chaque jour pour la population québécoise.

Votre présidente,



Mélanie Ratelle, t.r.o.

Réponses à vos questions

Le service d'inspection de l'Ordre, en collaboration avec l'inspecteur en médecine nucléaire, répond à quelques questions posées en lien avec le domaine d'exercice de la médecine nucléaire.



Esteban Espinosa-Bentancourt, t.i.m

Inspecteur
CIUSSS de l'Estrie -
CHUS, Hôpital
Fleurimont

QUESTION 1

Assistant technique et technicien classe B : quelles tâches leur sont permises ?

Généralement, ces titres d'emploi sont octroyés à un étudiant de première ou de deuxième année, ou à un finissant en attente de recevoir son permis.

L'assistant technique et le technicien classe B ne possèdent pas la formation complète en médecine nucléaire et ne sont pas membres en règle de l'Ordre. De plus, ceux-ci ne sont pas couverts par le programme d'assurance responsabilité professionnelle.

Alors, ces membres du personnel ne doivent effectuer aucune **activité réservée** aux technologues en imagerie médicale du domaine de la médecine nucléaire, ni porter le titre que la loi réserve aux membres de l'Ordre, et ce, même s'ils réalisaient ces tâches comme étudiants ou qu'ils possèdent l'expérience et les connaissances pour les réaliser.

Toutefois, les finissants en attente de leur assermentation peuvent, par exemple, participer à la journée d'accueil, suivre leur formation sur les systèmes informatiques et observer des examens ou des traitements.

Extrait de la *Loi sur les technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale*¹ :
Dans le cadre de l'exercice de la technologie de l'imagerie médicale et de la radio-oncologie, les activités réservées au technologue en imagerie médicale et au technologue en radio-oncologie sont les suivantes :

- 1°** Administrer des médicaments ou d'autres substances, lorsqu'ils font l'objet d'une ordonnance;
- 2°** Utiliser les radiations ionisantes, les radioéléments ou autres formes d'énergie, selon une ordonnance;
- 3°** Surveiller les réactions aux médicaments et aux autres substances;
- 4°** Introduire un instrument, selon une ordonnance, dans et au-delà du pharynx ou au-delà du méat urinaire, des grandes lèvres ou de la marge de l'anus ou dans une veine périphérique ou une ouverture artificielle;
- 5°** Mélanger des substances en vue de compléter la préparation d'un médicament, selon une ordonnance.

Nous vous rappelons que les étudiants sont autorisés à exercer des activités réservées aux technologues en imagerie médicale seulement si ces activités sont effectuées dans le cadre de leur programme technique et sous supervision. Ils ne peuvent pas effectuer des activités réservées lors d'un emploi d'été.

La vigilance est de mise pour éviter que l'assistant technique et le technicien classe B réalisent les tâches mentionnées ci-haut et exercent ainsi la profession illégalement. Ils pourraient être poursuivis pour pratique illégale et être passibles d'une amende.

QUESTION 2

Les technologues peuvent-ils réaliser l'acquisition et le traitement des scores calciques dans le département de médecine nucléaire ?

Le technologue en imagerie médicale est autorisé à procéder à l'acquisition et au traitement des images en vue de l'obtention du score calcique si cette procédure fait partie d'un protocole d'examen établi et entériné par les autorités médicales du service.

Étant donné que l'ajout de cette procédure au protocole implique une augmentation de la dose reçue par le patient, même si celle-ci est faible, une acceptation de la modification au protocole de la part des autorités médicales du service et du responsable de la radioprotection de l'établissement est recommandée.

Si cette procédure doit faire l'objet d'une ordonnance individuelle, sa réalisation dans le service de médecine nucléaire devrait faire l'objet d'une discussion avec les services concernés.

Toutefois, le technologue doit agir selon son *Code de déontologie*² en ce qui concerne la formation requise dans l'exercice de ses fonctions et à la mise à jour de ses connaissances.

QUESTION 3

La signature du technologue est-elle nécessaire ou les informations inscrites dans les systèmes informatiques sont-elles suffisantes ?

Le dossier patient doit contenir les informations relatives aux actes posés lors de l'exécution de l'examen. Il s'agit entre autres des éléments suivants³:

- nom des substances ou médicaments administrés;
- doses;
- numéro d'identification de la dose;
- heure de prélèvement ou de calibration du radiopharmaceutique;
- date et heure de chaque administration;
- signature du technologue ayant effectué chaque administration ou prélèvement;
- voie d'administration;
- site d'injection.

Le technologue est responsable en tout temps des soins et services qu'il dispense, et ce, à chacun de ses patients. Il doit agir selon son *Code de déontologie*² et les normes de pratique qui encadrent sa pratique professionnelle. L'identification du technologue en lien avec les actions posées est donc importante.

Toutefois, les outils disponibles peuvent varier d'un établissement à un autre, mais en tout temps la signature doit assurer un lien non

répudiable entre le professionnel et les actes réalisés. Le mode d'identification utilisé doit assurer la traçabilité et permettre d'identifier toutes les personnes impliquées, de reconnaître les responsabilités de chacun ainsi que de distinguer clairement le technologue qui pose le geste technique, et celui qui ajoute une note au dossier, le cas échéant.

Les systèmes informatiques (signature numérique)⁴ sont valides dans le cas où chaque technologue (ayant son propre identifiant de session) consigne les données de gestes techniques ou les notes au dossier pour lesquelles « lui-même » est responsable.

Extrait du guide d'exercice *Les ordonnances individuelles faites par un médecin*⁵:

Une signature numérique doit comporter les quatre éléments suivants:

1. Une marque personnelle identifiant le médecin, par exemple un code de sécurité.
2. La preuve que l'acte de signature représente l'acquiescement du signataire, par exemple une demande de confirmation du signataire.
3. Un mécanisme créant un lien entre le médecin et le document.
4. Un mécanisme assurant l'intégrité du document après qu'il a été signé. Ainsi, le document ne doit absolument pas être modifié une fois qu'il a été authentifié par le signataire.

Les lignes directrices en mammographie

SONT MAINTENANT DISPONIBLES

En décembre 2019, l'Ordre, annonçait l'obligation d'effectuer annuellement un nombre minimal de mammographies pour les technologues souhaitant renouveler l'attestation leur permettant d'exercer dans ce secteur.

L'Ordre souhaite, par la diffusion de ces lignes directrices, encadrer le processus d'attestation dans une perspective de protection du public et d'amélioration continue de la qualité.

L'application de ces lignes directrices est valable pour tous les technologues exerçant en mammographie, indépendamment de leurs lieux d'exercice, et ce, tant dans le secteur public que privé.

Le document est disponible sur le site de l'Ordre dans la section *Membres et étudiants / Amélioration de l'exercice: DPP et inspection / Normes de pratique-Lignes directrices-Avis de radioprotection*.

Pour toute information complémentaire, veuillez communiquer avec le service de l'inspection professionnelle par téléphone au 514 351-0052 / 1 800 361-8759, poste 225 ou par courriel à sip@otimroepmq.ca.



RÉFÉRENCES

1 – *Loi sur les technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale (RLRO, c. T-5)*, [En ligne], 2019. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/T-5/>] (Consulté le 24 février 2020)

2 – *Code de déontologie des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale (RLRO, c. T-5, r. 5)*, [En ligne], 2019. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/T-5,%20r.%205>] (Consulté le 24 février 2020)

3 – ORDRE DES TECHNOLOGUES EN IMAGERIE MÉDICALE, EN RADIO-ONCOLOGIE ET EN ÉLECTROPHYSIOLOGIE MÉDICALE DU QUÉBEC. *Normes de pratique spécifiques – Médecine nucléaire*, [En ligne], mis à jour en mars 2015, p. 37. [https://www.otimroepmq.ca/wp-content/uploads/2015/07/MN_mars2015.pdf] (Consulté le 24 février 2020)

4 – BARREAU DE MONTRÉAL. *Guide des technologies de l'information: Le document technologique et son intégrité*, [En ligne], mis à jour en février 2017, p. 4. [https://www.barreaudemontreal.qc.ca/sites/default/files/2017-guideti-documenttechnologique_fev2017.pdf] (Consulté le 24 février 2020)

5 – COLLÈGE DES MÉDECINS DU QUÉBEC. *Les ordonnances individuelles faites par un médecin: guide d'exercice*, [En ligne], 2016. [<http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2699319>] (Consulté le 24 février 2020)

Désinformation en radioprotection

Cheminement d'une plainte au syndic



Gilbert Gagnon,
t.i.m.(E)
Collège Lafleche

En collaboration avec le Bureau du syndic, le comité de radioprotection vous présente les grandes lignes d'une enquête récente qui mérite d'être partagée avec la communauté des technologues, étant donné les implications potentielles soulevées au niveau des responsabilités professionnelles.

Deux aspects de notre profession sont soulevés dans le traitement de cette plainte : l'obligation du technologue de fournir au patient les explications nécessaires à la compréhension et à l'appréciation des services rendus ainsi que la communication du risque radiologique.

Cet article expose les démarches effectuées du début jusqu'à la fermeture du dossier.



Chantal Asselin,
t.i.m.(E)
Collège Ahuntsic

Printemps 2019

À la demande de son médecin, monsieur T (nom fictif) se présente à l'urgence d'un hôpital près de chez lui pour une douleur thoracique aiguë.

L'urgentologue qui le reçoit prescrit une étude de perfusion myocardique en médecine nucléaire (protocole 1 jour) au repos et à l'effort. Il est donc immédiatement dirigé au Service de médecine nucléaire.

Pour la perfusion myocardique, monsieur T a reçu deux injections dans la même journée comportant une dose d'environ 500 MBq pour la séquence au repos et de 1400 MBq pour la séquence à l'effort, de ^{99m}Tc-Tetrofosmine accompagné d'un examen de tomодensitométrie (TDM) pour correction d'atténuation.

Perfusion myocardique

Quatre technologues ont été impliqués à différents moments et pour différentes fonctions pour la réalisation de l'examen (**Figure 1**):

- Technologue 1 : a préparé et injecté le produit radiopharmaceutique pour la portion « au repos »; aurait mentionné au patient l'injection d'un **colorant**.
- Technologue 2 : a effectué les images tomoscintigraphiques et le TDM pour la portion « au repos »;

- Technologue 3 : a préparé et injecté le produit radiopharmaceutique pour la portion « à l'effort » sur tapis roulant;
- Technologue 4 : a effectué les images tomoscintigraphiques et le TDM pour la portion « à l'effort ».

Monsieur T retourne à l'urgence.

Plaintes

En arrivant à son travail, monsieur T a fait sonner un détecteur de radiation, ce qui l'a amené à se questionner... Il avait compris qu'on lui avait administré un **produit de contraste** (et non un produit radioactif); il avait lu dans un dépliant disponible dans la salle d'attente que cet examen ne comportait aucun risque.

Il a donc fait des recherches sur Internet pour connaître la dose de radiation reçue pour son étude de perfusion myocardique avec TDM. Il évalue la dose reçue à un peu plus de 20 mSv et considère qu'il s'agit d'une dose importante de radioactivité. Il considère que cet examen représente plus de 1220 radiographies pulmonaires (selon Wikipedia) et un risque de 1 possibilité sur 409 de développer un cancer.

Monsieur T a très mal pris cette expérience. Il juge qu'on lui a menti et qu'il a été trompé sur le risque encouru. Il considère qu'on lui a volé sa liberté de jugement.

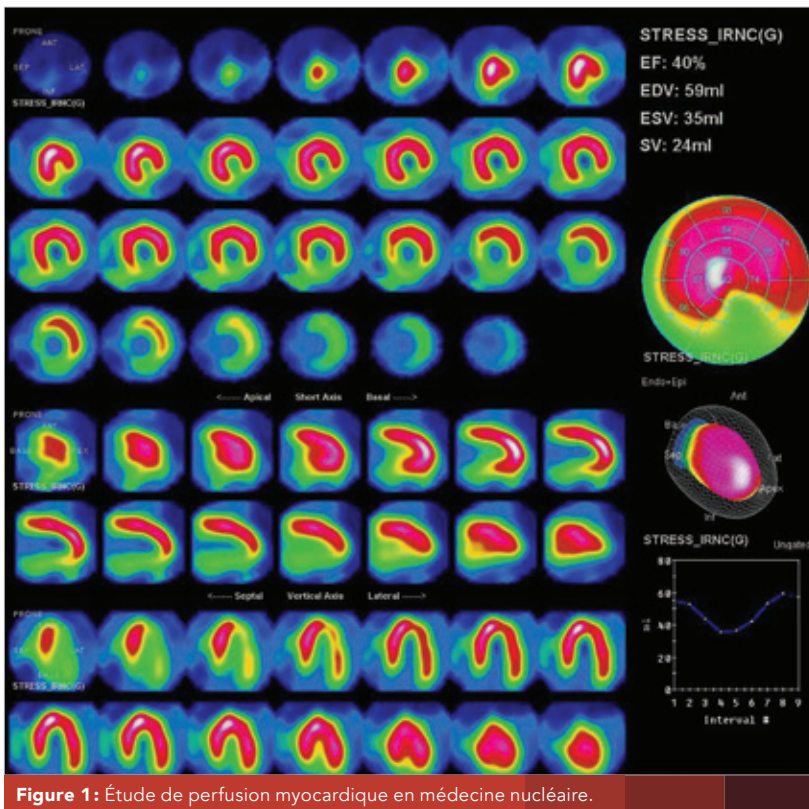


Figure 1 : Étude de perfusion myocardique en médecine nucléaire.

Il a donc déposé une plainte aux autorités du centre hospitalier au printemps 2019, suivie d'une plainte au syndicat de l'OTIMROEPMQ à l'automne dernier.

Monsieur T reproche aux technologues leur manque de communication avec les patients qui doivent subir des examens en imagerie médicale. Il prétend que cela était son droit, à la lumière de toute l'information disponible, de faire un choix éclairé en toute connaissance de cause et de décider s'il en acceptait le risque. Selon lui, s'il avait eu l'information, il aurait été très inconfortable à passer cet examen et aurait demandé à échanger avec le médecin responsable pour connaître les alternatives possibles et discuter des gains, risques et bénéfices.

Monsieur T reproche au personnel de ne pas l'avoir informé correctement et de ne pas lui avoir expliqué les risques associés à l'administration de radioactivité. Les dépliants explicatifs mis à la disposition des patients ne parlaient pas de doses ou les banalisaient.

Du point de vue de la dose de radiation, monsieur T prétend que l'examen qu'il a subi est tout sauf anodin. Selon lui, de tous les examens, c'est celui qui inflige au patient la plus forte dose absorbée équivalente. Et pourtant, personne – ni le médecin ni les technologues – n'a pris la peine de lui expliquer ce que c'était et ce que cela représentait.

Monsieur T était loin de se douter qu'il allait recevoir, selon lui, un produit hautement radioactif

dans les veines, suivi d'une série de TDM qui pour l'ensemble représente plus de 1220 radiographies pulmonaires et, un risque de cancer additionnel non négligeable!

Monsieur T pense qu'il y a clairement eu un défaut d'information et un **mensonge** de la part du médecin et des technologues.

Enquête du syndicat

À la suite de la plainte de monsieur T, le syndicat de l'Ordre a décidé de faire une enquête à l'endroit des technologues ayant réalisé l'examen de perfusion myocardique à l'hôpital concerné.

Voici les principaux éléments soulevés dans cette plainte :

- défaut de communication et d'information des technologues;
- dose de radiation non négligeable;
- choix éclairé en toute connaissance de cause;
- le patient n'a pu décider s'il acceptait le risque de cet examen;
- le patient n'a pu discuter des gains, risques et bénéfices de l'examen.

Pour mener à bien ce dossier, le syndicat a sollicité la collaboration de deux technologues experts en radioprotection.

Par la suite, le syndicat de l'Ordre a communiqué par écrit avec chacun des technologues ayant participé à l'examen de monsieur T afin de compléter son information dans ce dossier de plainte. Il leur a demandé de répondre à des questions concernant le déroulement de l'examen en y ajoutant des explications et/ou des justifications, et en leur rappelant qu'ils étaient tenus de répondre aux questions demandées et de ne pas entrer en communication avec monsieur T.

Opinion des experts

Les experts ont procédé à l'analyse des affirmations et des allégations de monsieur T.

En rapport avec les doses de radiation et le risque de cancer :

- Concernant les doses reçues, les deux experts s'entendent pour dire que monsieur T a reçu au total pour son examen de perfusion myocardique, une dose efficace d'environ 20 mSv. Il s'agit selon la publication ICRP 103¹ d'une **faible dose** de radiation puisque cette dose est **inférieure à 100 mSv**.
- Il est vrai cependant que les études de perfusion myocardique qui nécessitent l'administration de deux doses de radiopharmaceutiques marqués au ^{99m}Tc sont les examens en médecine nucléaire qui donnent les doses efficaces les plus élevées, avec les scintigraphies au citrate de gallium⁶⁷.
- Contrairement à ce qui est exprimé par monsieur T, il n'y a pas d'augmentation significative de risque de cancer radio-induit à la suite de cet examen. Le risque étant évalué à 1 possibilité supplémentaire sur 1000 à tous les 20 mSv de dose efficace, **soit 5%/Sv selon la Sv selon la Commission internationale de protection radiologique (CIPR)**.
- Et il est important de rappeler à monsieur T que les limites de doses ne s'appliquent pas aux expositions médicales (CIPR103), mais elles sont encadrées par les **niveaux de référence diagnostiques** (NRD). Cette valeur est obtenue à la suite d'une étude dosimétrique multicentrique et elle représente la valeur en dessous de laquelle se trouvent 75% des mesures prises en compte. Or les doses de ^{99m}Tc-Tetrofosmine administrées à monsieur T respectent les niveaux de référence diagnostiques évalués en 2014 à la suite d'un sondage multicentrique national².
- La correspondance en « radiographies pulmonaires » est en réalité 2,5 fois moins élevée que celle prétendue par monsieur T. Une radiographie pulmonaire donne une dose efficace d'environ 0,1 à 0,05 mSv, soit de 200 à 400 fois plus faible qu'une étude de perfusion myocardique.

Et en rapport avec l'information et les communications avec le patient :

- Les technologues se doivent d'indiquer au patient qu'il recevra une faible dose de produit radioactif avec très peu d'effets secondaires (reliés à l'administration du produit pharmaceutique).
- Les technologues ne doivent pas utiliser le terme « colorant » pour expliquer au patient la fonction du radiopharmaceutique injecté. Cette information est erronée puisqu'il ne s'agit pas d'un agent de contraste. Ce raccourci de vulgarisation porte à confusion et doit être corrigé dans le futur.
- Les technologues doivent aussi informer le patient qu'il recevra une faible dose de rayonnement X.
- Concernant les dépliants explicatifs, des modifications et des ajouts ont été suggérés:
 1. *Il serait souhaitable qu'une mention soit faite dans chaque dépliant à l'effet que : « Le patient, à tout moment avant, pendant ou après l'examen, peut poser les questions qu'il désire aux technologues qui réalisent son examen ».*
 2. *Il est faux de mentionner qu'il n'y a aucun effet secondaire possible à la suite de l'administration du radiopharmaceutique. « Les effets secondaires, à la suite de l'administration d'un radiopharmaceutique sont très rares³, mais connus et documentés (rash cutané, etc.) »*
 3. *Il est possible d'ajouter qu'il n'y a aucun risque de cancers et autres maladies démontrés à de si faibles doses de rayonnement (<100 mSv).*

Réponse du syndicat au plaignant

L'examen qui a été prescrit présente des bénéfices de loin supérieurs aux risques minimes qui y sont associés.

Le syndicat de l'Ordre a pris soin de questionner les technologues impliqués sur leur pratique professionnelle pour en arriver à la conclusion qu'elle n'est pas sans faille et qu'elle aurait intérêt à être revue et bonifiée.

Il a été constaté que le modèle habituel d'explications transmises au patient en début d'examen par chacun des technologues n'est pas uniforme. Il serait bon d'uniformiser les pratiques en ce sens.

Décision du syndic

À la suite de son enquête et de l'analyse de situation, le syndic de l'Ordre en arrive à la conclusion que l'ensemble de la preuve recueillie ne justifie pas le dépôt d'une plainte officielle auprès du Conseil de discipline de l'OTIMROEPMQ en rapport avec le comportement professionnel des quatre technologues en imagerie médicale qui ont réalisé l'examen de monsieur T.

Par contre, dans le dossier soumis par le requérant, il convient de procéder à l'endroit des technologues à l'émission des avertissements et recommandations suivantes :

1. En tout temps, ces technologues devront fournir au patient les explications nécessaires à la compréhension et à l'appréciation des services qu'ils lui rendent.
2. À tout moment avant, pendant ou après l'examen, lorsqu'un patient posera les questions qu'il désire aux technologues qui réalisent son examen, ceux-ci devront lui répondre.
3. Ces technologues se devront d'indiquer au patient qu'il recevra une faible dose de produit radioactif avec très peu d'effets secondaires.
4. À titre de technologue, ils devront aussi informer le patient qu'il recevra une faible dose de rayonnement X.
5. Ces technologues devront mentionner que les possibles effets secondaires sont reliés à l'administration du produit pharmaceutique (et non à la radioactivité) et qu'ils sont extrêmement rares.

6. Ces technologues devront expliquer au patient la sensibilité des équipements à détecter les faibles doses de rayonnements émises par les radiopharmaceutiques injectés.

7. Ces technologues devront également valider la compréhension du patient en lui demandant s'il a des questions avant de commencer l'examen et obtenir l'accord de celui-ci pour tout geste diagnostique ou thérapeutique.

Par conséquent, le syndic a procédé à la fermeture de ce dossier après avoir transmis aux intimés ces avertissements et recommandations.

Par contre, et ce suivant l'article 123.4 du *Code des professions*⁴, la partie plaignante pouvait, dans les 30 jours suivant la date de réception de la présente décision, s'adresser au comité de révision de l'Ordre des technologues en imagerie

médicale et en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale du Québec afin de demander la révision de la décision du syndic.

Ce qui n'a pas été fait dans le délai prescrit.

Conclusion

Le comité de radioprotection considère que monsieur T n'a pas raison d'avoir des craintes de contracter un cancer radio-induit. L'examen qu'il a subi a été réalisé selon les standards reconnus, et il était important de le rassurer en ce sens. Cependant, sa plainte remet sérieusement en cause le rôle des technologues dans la communication des informations nécessaires à la bonne collaboration du patient et dans celle du faible risque radiologique.

Par la publication de cet article, le comité de radioprotection désire faire une relance auprès de tous les technologues de leur devoir d'information pour lequel ils ont déjà été formés adéquatement.

RÉFÉRENCES

- 1 – INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103*, [En ligne], 2007, p. 290. [<https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>]
- 2 – CHAREST, Mathieu, et Chantal ASSELIN. « Effective Dose in Nuclear Medicine Studies and SPECT/CT: Dosimetry Survey Across Quebec Province ». *Journal of Nuclear Medicine Technology*, vol. 46, no 2, 2018, p. 107-113. doi: 10.2967/jnmt.117.202879.
- 3 – SAMPSON, Charles, B. « Adverse Reactions and Drug Interactions with Radiopharmaceuticals ». *Drug Safety*, vol. 8, no 4, April 1993, p. 280-294.
- 4 – Code des professions (RLRQ, c. C-26), [En ligne], 2019. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/c-26>]. (Consulté le 24 février 2020)

FIGURE

- 1 – MEDNUC.NET. *Ischémie myocardique sténose coronaire droite*, [En ligne], 2013. [<https://www.mednuc.net/casclinique/ischemie-myocardique-stenose-coronaire-droite/>] (Consulté le 24 février 2020)

Communication 2.0

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

Les petites obligations qui font de grosses différences

Vous souvenez-vous, en décembre 2017, le secrétaire de l'Ordre a demandé à chacun des membres de se conformer à l'art. 46.1, paragraphe 4.1, du *Code des professions*¹ qui stipule que le tableau des membres doit maintenant contenir « **une adresse de courrier électronique professionnelle établie à son nom** » ?

Cette demande visait à concrétiser la nouvelle politique de communication de l'Ordre. Les correspondances se feraient dorénavant principalement par voie de courrier électronique. On entend ici votre avis de cotisation, les informations concernant les élections, les renseignements à propos des formations et du Congrès annuel, les avis de l'inspection professionnelle, les infolettres ltech, vos avis de DPP et certaines communications ciblées.

Il reste encore quelques irréductibles, qui prétendent ne pas avoir d'adresse courriel ou ne pas en vouloir. Ce n'est pas une option, mais bien une obligation pour tous.

Aujourd'hui, qui ne possède pas un cellulaire, une tablette, un ordinateur, une montre intelligente, une connexion internet, un compte Facebook, Twitter, Instagram ou autres pour lesquels une adresse courriel Outlook, Gmail ou Hotmail est requise pour la simple mise en service ou pour les mises à jour? Alors vous n'avez toujours pas d'adresse courriel? Soyons sérieux.

Refuser ou omettre de se conformer à cette directive équivaut à faire entrave au travail des différentes directions de l'Ordre et vous met en contravention vis-à-vis vos DEVOIRS ET OBLIGATIONS ENVERS LA PROFESSION, tel que stipulé à l'art. 43 du *Code de déontologie*².

Certains nous disent: « Pourquoi ne pas nous appeler ou nous écrire... ? »

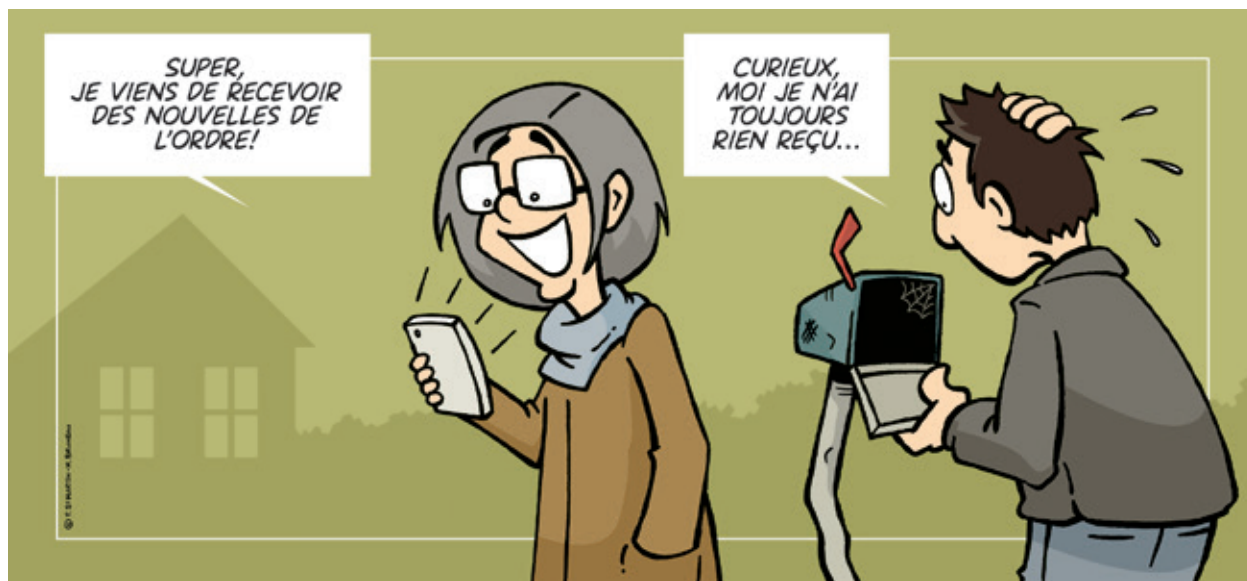
Facile à dire, mais souvenez-vous qu'il y a maintenant plus de 6300 membres inscrits au tableau de l'Ordre. Seriez-vous prêts moyennant une hausse de cotisation, à assumer les coûts d'un tel service? Chaque envoi postal représente plus de 7000\$, alors que le coût d'un envoi par courriel est pratiquement nul? Ce n'est pas par caprice ou par paresse que nous avons instauré cette politique, mais bien pour le plus grand bénéfice de tous et pour l'efficacité démontrée par ce moyen de communication.

Autre problématique: **ceux qui ne lisent pas** leurs courriels. Récemment, le Syndic a dû envoyer un dernier avis à près d'une centaine de membres qui n'avaient pas répondu à leur avis d'inspection, et ce, même après deux rappels. Il est si simple de prendre connaissance des communications avant d'en disposer. Tout comme vous, nous ne souhaitons pas discipliner ce volet de nos communications, alors aidez-nous à vous aider et cela fera une grosse différence.

RÉFÉRENCES

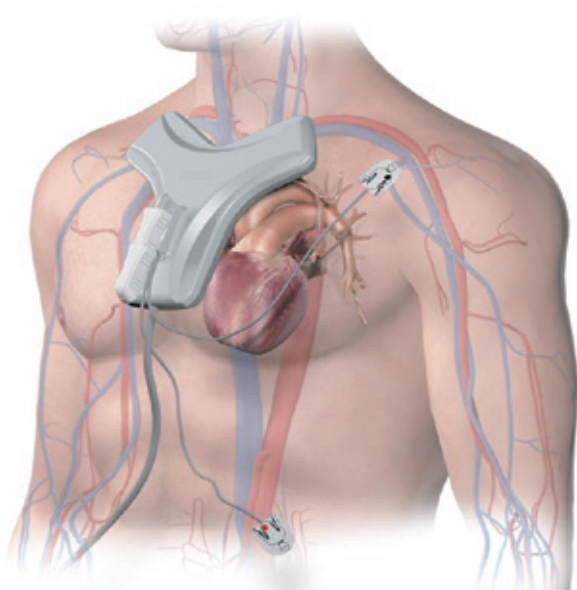
1 – *Code des professions (RLRQ, c. C-26)*, [En ligne], 2019. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/c-26>]. (Consulté le 24 février 2020)

2 – *Code de déontologie des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale (RLRQ, c. T-5, r. 5)*, [En ligne], 2019. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/T-5,%20r.%205>]. (Consulté le 24 février 2020)



Le Sherlock 3CG^{MC} Système de confirmation de pointe

Est utilisé pour l'insertion, la navigation et le bon positionnement des cathéters centraux insérés par voie périphérique, sans nécessiter d'exposition au rayon x ou le déplacement du patient. Il permet en temps réel la localisation de l'extrémité distale du cathéter en utilisant un aimant passif traceur et l'activité électrique cardiaque du patient (ECG).



Pour plus d'informations, veuillez contacter votre représentant BD ou appelez le **1.888.979.9408**.

BD—Canada, Mississauga, ON, L5N 0B3

bd.com

BD, le logo BD et Sherlock 3CG sont des marques de commerce de Becton, Dickinson and Company ou de ses sociétés affiliées. © 2020 BD. Tous droits réservés. 4465 (02/20)



L'intelligence artificielle

et la transformation des professions dans le secteur de la santé

Quels sont les enjeux pour les professionnels de la santé ?



Luigi Lepanto,
M.D., M. Sc., FRCPC(C)

Centre hospitalier
de l'Université
de Montréal

Introduction

Depuis le début de l'histoire, les développements technologiques ont modifié notre relation avec le travail. Toutefois, nous avons l'impression qu'avec l'intelligence artificielle (IA) les choses sont différentes. Certains y voient une menace, tandis que d'autres voient des opportunités. Il y aura sans doute des impacts, mais les professions de la santé seront plutôt transformées par cette révolution technologique. Entre le biais optimiste et la résistance au changement, il y a un juste milieu qui est pragmatique et qui propose une approche évolutive et transformationnelle. Il n'est pas toujours facile de faire la part entre le battage médiatique et la réalité. Les défis liés à l'introduction de nouvelles technologies ont toujours été présents. Chacune des révolutions industrielles a amené un risque de remplacement de la main-d'œuvre et l'apparition d'un sentiment d'insécurité. Les historiens des sciences identifient trois révolutions industrielles. La première, apparue avec de la mécanisation, a vu l'industrie déloger l'agriculture comme principale source d'emploi et a conduit au développement des usines et, par conséquent, à la croissance des villes. La 2^e révolution industrielle correspond au développement de la production de masse. Elle a été rendue possible grâce aux progrès scientifiques et à l'exploitation de différentes sources d'énergie (gaz, pétrole, électricité). Cette ère a également vu l'émergence des sciences de la gestion. La 3^e révolution industrielle correspond à l'économie du savoir, rendue possible en grande partie par les progrès en électronique, en télécommunications et en informatique.

Chacune de ces époques a été accompagnée de bouleversements, avec suppressions d'emplois et délocalisations, mais également de création de nouveaux emplois et de création de richesse. Certains maintiennent que le développement de l'IA nous amène à l'aube d'une 4^e révolution industrielle et que cette fois-ci l'issue est moins certaine.

Entre le biais optimiste et la résistance au changement, il y a un juste milieu qui est pragmatique et qui propose une approche évolutive et transformationnelle.

Quelle est la différence? On craint une augmentation encore plus marquée de la capacité physique des machines et une automatisation de plus en plus sophistiquée. Ceci causerait une délocalisation massive accompagnée d'une perte d'emplois à une échelle jamais vécue. La perception générale que l'IA, et plus spécifiquement l'apprentissage machine, confiée à ces machines des attributs cognitifs, rend l'avenir encore plus incertain. On peut se poser comme question: quelle place restera-t-il à l'humain?

Une analyse plus posée, toutefois, dépeint un avenir différent et nettement plus optimiste. Il y aura des défis importants, mais au final, le bilan apparaît positif. Dans un rapport publié par le Forum Économique Mondial en 2018, on prédit la création de 55 millions d'emplois au net¹. Il est vrai que certaines activités seront remplacées ou déplacées, mais la création globale sera de l'ordre de 133 millions avec remplacement de 75 millions d'emplois. L'impact sera majeur, et même si au total le bilan est positif, il faudra s'y préparer pour atténuer les difficultés pour celles et ceux qui subiront les contrecoups.

Intelligence artificielle – Intelligence humaine

Afin de mieux comprendre les enjeux et planifier avec succès la transition vers cette nouvelle réalité, il est utile d'analyser le continuum entre l'intelligence artificielle et l'intelligence humaine². En fait, il y a des responsabilités et des activités qui se prêtent à l'automatisation, notamment les activités qui incorporent de multiples itérations, les transactions, ainsi que les prédictions basées sur des données historiques. Dans ce dernier cas, ceci est particulièrement utile quand la quantité et la complexité des données rendent l'analyse humaine difficile, pour ne pas dire impossible. Dans les activités transactionnelles, on retrouve notamment la distribution des effectifs et la construction

Nous entrons dans une phase de découverte avec la création de nouveaux rôles et le développement de nouvelles capacités.

d'un horaire de travail basées sur les disponibilités d'un côté et les besoins de l'autre. La gestion des rendez-vous et la planification des programmes sont également des activités qui pourront être automatisées grâce à l'IA. L'utilisation de l'IA pour des tâches de prédiction en santé est déjà une réalité avec des applications cliniques d'aide à la décision et pour l'interprétation d'images médicales. En contrepartie, il y a des responsabilités et des activités qui demeureront nécessairement dans la sphère humaine: le jugement, la créativité et l'empathie, pour ne nommer que celles-là. Dans le domaine de la santé, l'interaction humaine ne pourra être éliminée. L'IA sera un outil de plus qui viendra en aide aux parties prenantes.

Dans ce continuum, intelligence artificielle – intelligence humaine, les enjeux transformationnels s'articuleront autour des activités conjointes. Il est important d'identifier les activités qui pourront être déléguées à l'IA, mais il est encore plus important d'identifier ces activités hybrides où l'IA vient appuyer et augmenter la capacité humaine. Ceci permettra d'approprier la technologie, d'identifier les opportunités d'emploi et de guider l'implantation. Il y a des activités conjointes ou hybrides à prépondérance humaine qui nécessiteront le développement de nouvelles expertises. Voici quelques exemples: des entraîneurs pourront donner aux machines qui interagissent avec des humains des attributs humains tels l'empathie (pensez aux robots répondant aux appels). L'apprentissage profond fonctionne comme une boîte noire et les

recommandations ou réponses produites peuvent apparaître contre-intuitives. Des agents d'explication pourraient faire le lien entre les concepteurs et les utilisateurs afin de comprendre les liens entre les données et les résultats produits à l'aide de l'IA. Ces algorithmes ne sont pas infaillibles. L'IA peut être sujette à des biais et même à des erreurs. La responsabilité d'une vigie, dont l'objectif est d'éviter les méfaits, incombera toujours à des humains. Ces deux dernières considérations (explication des résultats et vigie visant à éviter les méfaits) font partie des exigences afin que cette technologie soit acceptable.

Acceptabilité sociale

L'introduction dans le domaine public d'une technologie comme l'IA soumettra celle-ci à des contrôles plus stricts. La *Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'intelligence artificielle*³ est un exemple de la prise de conscience de l'impact potentiel de cette technologie et du souci de s'assurer de l'acceptabilité sociale de son implantation. L'acceptabilité sociale s'articule autour de plusieurs dimensions, dont la précision, la stabilité, l'explicabilité, l'équité, et l'adoption. La capacité de pouvoir expliquer les résultats et la vigie nécessaire à éviter les méfaits ont déjà été mentionnées. En ce qui concerne la précision, l'objectif de l'IA est d'améliorer la prise de décisions dans un contexte probabiliste. Dans certaines situations, il y a plusieurs possibilités avec des probabilités de résultats. Il faudra établir des critères de bases permettant de déterminer si l'algorithme performe

Nous entrons dans une phase de découverte avec la création de nouveaux rôles et le développement de nouvelles capacités.

bien ou pas. Les applications sont plus facilement acceptées et la technologie plus facilement adoptée quand l'algorithme a un sens pour l'utilisateur. La stabilité implique un résultat constant en réponse à un *input* similaire. La participation des parties prenantes à toutes les étapes de l'implantation favorise également l'adoption. En vérifiant la précision et la stabilité des résultats, et en participant au développement des algorithmes, il sera possible de tirer une compréhension approfondie du potentiel de l'IA. L'équité dans son utilisation, ainsi que dans la distribution des richesses qui pourra en découler, augmentera la confiance de la société dans cette technologie et favorisera ainsi son adoption.

Transformation dans le domaine de la santé

L'interaction entre l'humain et la machine intelligente créera des opportunités. En exploitant la synergie possible entre l'intelligence humaine et l'intelligence artificielle, il sera possible d'imaginer de nouvelles façons de faire. Nous entrons dans une phase de découverte avec la création de nouveaux rôles et le développement de nouvelles capacités. L'impact sur les soins se fera ressentir sur plusieurs plans. Il y aura une amélioration de la précision diagnostique, certes en imagerie médicale (radiologie, pathologie, dermatologie, endoscopie, etc.), mais également en ce qui concerne le diagnostic médical au sens large (capacité d'analyse d'un grand volume de données pertinentes). Il y aura également une amélioration du pronostic

avec une médecine personnalisée et des outils prédictifs permettant rapidement des soins appropriés. Un domaine souvent ignoré dans les pronostics optimistes des bienfaits de l'IA est celui des procédés administratifs et de la gestion; des améliorations sont aussi à prévoir. La planification des services sur une base populationnelle, régionale et même institutionnelle sera rehaussée et mieux adaptée aux besoins de la population. La gestion des ressources sera mieux alignée sur les besoins dans un réseau apprenant. L'intelligence artificielle n'éliminera pas les professionnels de la santé; les professionnels qui apprivoisent et utilisent l'intelligence artificielle remplaceront ceux et celles qui ne le font pas.

L'intelligence artificielle n'éliminera pas les professionnels de la santé; les professionnels qui apprivoisent et utilisent l'intelligence artificielle remplaceront ceux et celles qui ne le font pas.

Dans le domaine médical, les premières applications faciliteront le travail des professionnels en les rendant plus efficaces. L'automatisation de tâches répétitives et des outils d'aide à la décision permettront d'augmenter la productivité tout en assurant une qualité appropriée. Il n'y aura pas de disparition de postes, mais une transformation des rôles et des responsabilités. Ces outils issus de l'IA seront progressivement introduits dans le travail des professionnels de la santé.

Conclusion

À l'instar des révolutions industrielles antérieures, l'IA et la numérisation omniprésente auront des impacts humains réels. En préconisant une analyse qui repose sur un continuum entre l'intelligence humaine et l'intelligence machine, il est clair que l'intervention humaine ne pourra être évacuée. Pour des raisons d'acceptabilité sociale et pour la simple raison que l'IA n'est pas infaillible, l'humain sera toujours nécessaire à son implantation. Par son habileté à traiter une très grande quantité de données, l'IA a beaucoup de succès dans l'identification des associations entre des données, associations qui ne sont pas évidentes. Toutefois, association n'implique pas nécessairement un lien de causalité. Les résultats ou les recommandations seront souvent sous forme probabiliste et l'humain devra utiliser son jugement pour les interpréter.

Le contexte actuel, avec des besoins en soins de santé qui augmentent, associé à une pression démographique causée par le vieillissement, nous interpelle et nous oblige à explorer les opportunités que l'IA offre. Ceci est d'autant plus vrai que nous expérimentons une pénurie de main-d'œuvre. Le rôle humain, loin d'être menacé, sera transformé. Nous devons cesser d'utiliser la perspective des titres d'emploi, mais identifier les rôles, les responsabilités et les objectifs. Nous devons repenser nos façons de faire et oser innover.

RÉFÉRENCES

- 1 – WORLD ECONOMIC FORUM. *The Future of Jobs Report 2018*, [En ligne], 2018. [<https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2018>] (Consulté le 17 février 2020)
- 2 – WILSON, H. James, et Paul R. DAUGHERTY. *Human + machine: reimagining work in the age of AI*, États-Unis, Harvard Business Review Press, 2018, 264 p.
- 3 – UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL. *Déclaration de Montréal pour le développement responsable de l'IA*, [En ligne], 2018. [<https://www.declarationmontreal-iaresponsable.com>] (Consulté le 17 février 2020)

L'intelligence artificielle

contre le cancer

Le cancer est l'ennemi public numéro un, et des chercheurs québécois veulent déployer la puissance de l'intelligence artificielle pour le déjouer.

Philippe Mercure
La Presse

Note de la rédaction: article publié pour la première fois dans La Presse le 1^{er} mars 2020, et reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur et du directeur de la publication.

Le cancer est l'ennemi public numéro un, et des chercheurs québécois veulent déployer la puissance de l'intelligence artificielle pour le déjouer. Mieux repérer les tumeurs sur les images. Les viser avec plus de précision par la radiothérapie. Savoir quand il faut sortir les nouvelles armes comme l'immunothérapie pour les combattre. Voici cinq projets de recherche qui viennent d'être financés par un concours appelé Onco-Tech⁽¹⁾.

Mieux repérer l'ennemi

La première mammographie (**Figure 1**) que passera une femme est souvent source de stress. Dans pas moins d'un cas sur cinq, un doute est soulevé. L'image montre-t-elle une tumeur cancéreuse cachée dans les tissus? Pour en avoir le cœur net, il faudra faire d'autres images du sein, parfois même une biopsie. Or, dans 80% de ces cas, il n'y a pas de cancer. Ces nombreux drapeaux levés pour rien préoccupent les professionnels de la santé.

«Vous vous imaginez les patientes. Elles ont un examen, attendent trois semaines, ont un autre examen, parfois une échographie, une biopsie... Elles peuvent être trois mois dans l'attente d'un résultat», illustre la Dre Julie Lemieux, hémato-oncologue et chercheuse clinicienne au CHU de Québec. C'est sans compter les pertes de temps et d'argent pour le système de santé.

Avec sa collègue Louise Provencher, chirurgienne-oncologue au CHU de Québec, la Dre Lemieux veut voir si l'intelligence artificielle peut aider à mieux détecter les tumeurs sur les mammographies. L'aspect informatique sera confié à l'entreprise montréalaise

Les chercheuses veulent aussi voir si l'intelligence artificielle peut aider à caractériser les tumeurs directement sur les mammographies et prédire à quels traitements la patiente réagira le mieux.

Imagia. Le CHU de Québec lui fournira une mine d'or: le résultat de 50 000 biopsies réalisées depuis 20 ans, avec les mammographies initiales qui y sont associées. Le système tentera de dégager les signes révélateurs d'un cancer à partir des images.

Les chercheuses veulent aussi voir si l'intelligence artificielle peut aider à caractériser les tumeurs directement sur les mammographies et prédire à quels traitements la patiente réagira le mieux. Elles se donnent de deux à trois ans pour obtenir des résultats.

«Avant d'utiliser le modèle à grande échelle, il faut que le système soit robuste. Quand on dit à la patiente: «Vous n'avez pas besoin de biopsie parce que ça a l'air bénin», il faut être sûr de notre affaire!», dit la Dre Lemieux.

Colorier les tumeurs pour les identifier

Pour attaquer efficacement le cancer, il faut savoir à quel type de tumeur on a affaire exactement. Et pour aider les médecins à s'y retrouver, Michel Meunier, professeur de génie physique et de génie biomédical à Polytechnique Montréal, veut utiliser des nanoparticules.

L'idée est d'envoyer des centaines de millions de minuscules particules d'or, d'argent et de leurs alliages dans un échantillon prélevé par biopsie. Ces particules viennent en plusieurs couleurs. Pour chacune de ces couleurs, on attache à la nanoparticule une molécule biologique capable de s'accrocher à un type de cellule cancéreuse en particulier.

«Disons qu'on a une particule verte. Si on lui attache une molécule biologique qui fait qu'elle cible certaines cellules cancéreuses, elle va aller s'accrocher sur ces cellules. Et quand je regarde ensuite dans le microscope et que je vois des points verts, ça veut dire que la nanoparticule a identifié quelque chose», illustre Michel Meunier, qui mène les travaux en collaboration avec la Dre Dominique Trudel, pathologiste au Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM).

Ce que les chercheurs examinent au bout du processus est donc un motif de couleurs créé par la répartition des nanoparticules. C'est ce motif qui peut révéler de quel type de cancer est atteint le patient. L'avantage des nanoparticules est qu'on peut les compter, ce qui permet de quantifier l'analyse plutôt que d'y aller

au pif. Mais les travaux sont loin d'être simples. Il faut concevoir un système optique capable de voir et de compter les nanoparticules, puis interpréter ces images à l'aide de l'intelligence artificielle pour identifier les cancers. Pas moins de trois entreprises participent aux travaux: les québécoises Photon ETC et Object Research Systems, ainsi que la française TRIBVN. Première cible: les différents types de cancer du poumon.

«C'est de la recherche et il y a encore beaucoup de choses à développer là-dedans, précise Michel Meunier. Mais on pense le système pour qu'il soit le moins cher et le plus efficace possible pour son utilisation par les pathologistes.»

Mieux viser avec la radiothérapie

Ce patient répondra-t-il bien à la radiothérapie? Quelle dose devrais-je lui donner, à quelle fréquence et pendant combien de temps? Voilà les questions que se pose un oncologue qui a un patient devant lui. Et il est possible que l'intelligence artificielle puisse l'aider.

C'est en tout cas ce que veulent vérifier Samuel Kadoury, chercheur au centre de recherche du CHUM et professeur à Polytechnique Montréal, et le Dr David Roberge, chercheur investigateur sur le cancer au CHUM.

Pour l'instant, les scientifiques concentrent leurs efforts sur les cancers qui attaquent la tête et le cou. Ils nourriront un système d'intelligence artificielle avec des données acquises sur 20 000 patients depuis 15 ans. Ces données comprennent des images du cancer acquises par tomomodensitométrie ou par imagerie par résonance magnétique, ainsi que des informatiques sur les traitements administrés et l'évolution du cancer. But de l'exercice: tenter de voir ce qui fonctionne et ce qui ne fonctionne pas en fonction de l'allure de la tumeur telle qu'elle apparaît sur les images. (Figure 2)



Figure 1: Examen de mammographie.

« On utilise des techniques d'apprentissage profond pour entraîner des modèles et pouvoir donner des prédictions, explique Samuel Kadoury. L'idée est qu'un patient arrive, et qu'à partir d'une seule image, on puisse lui dire s'il va bien répondre à la radiothérapie. Et, si c'est le cas, qu'on puisse lui créer un plan personnalisé avec des doses spécifiques. »

Lorsque la radiothérapie est administrée, le patient bouge toujours un peu, ne serait-ce que parce qu'il respire. Les chercheurs veulent aussi utiliser l'intelligence artificielle pour prédire ces mouvements et les compenser. L'objectif est de viser précisément la tumeur en épargnant les tissus sains. Les travaux se font de concert avec la multinationale suédoise Elekta, qui fabrique des appareils de radiothérapie.

« Le but est d'arriver, dans deux ans, avec un prototype utilisable », dit Samuel Kadoury.

Savoir quand déployer les nouvelles armes

Se servir du système immunitaire du patient pour combattre le cancer : c'est le principe de l'immunothérapie, une technique révolutionnaire qui a le vent dans les voiles. Pour le cancer du poumon, par exemple, elle permet de faire des miracles avec certains patients... mais pas tous. Pourquoi ? La réponse est complexe.

En principe, notre système immunitaire élimine les cellules cancéreuses. Mais certaines lui échappent parce qu'elles expriment certaines protéines, dont l'une appelée PDL1, qui disent aux cellules immunitaires : « Ne m'attaquez pas, je suis une amie. » En mesurant, directement dans les cellules cancéreuses, le taux d'expression du PDL1, on peut deviner si le cancer utilise bien ce truc. Si c'est le cas, on donne aux patients certains traitements d'immunothérapie qui inhibent le PDL1. En principe, cela permet de contrer la ruse et le système immunitaire peut attaquer le cancer.

Mais cette stratégie est imparfaite. « On n'est pas toujours capable de bien prédire la réponse au traitement uniquement avec le taux d'expression du PDL1. C'est comme si on essayait de prédire la météo seulement en regardant s'il y a des nuages. Ça ne fonctionne pas toujours très bien. Mais si on combine les nuages avec les données d'un baromètre et d'autres informations, ça s'améliore », illustre le Dr Philippe Joubert, anatomopathologiste et chercheur à l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie du Québec.

Avec son collègue Bertrand Routy, du CHUM, le Dr Joubert veut utiliser l'intelligence artificielle pour complexifier l'analyse.

« L'intelligence artificielle va nous permettre de regarder plein de variables chez un patient, explique

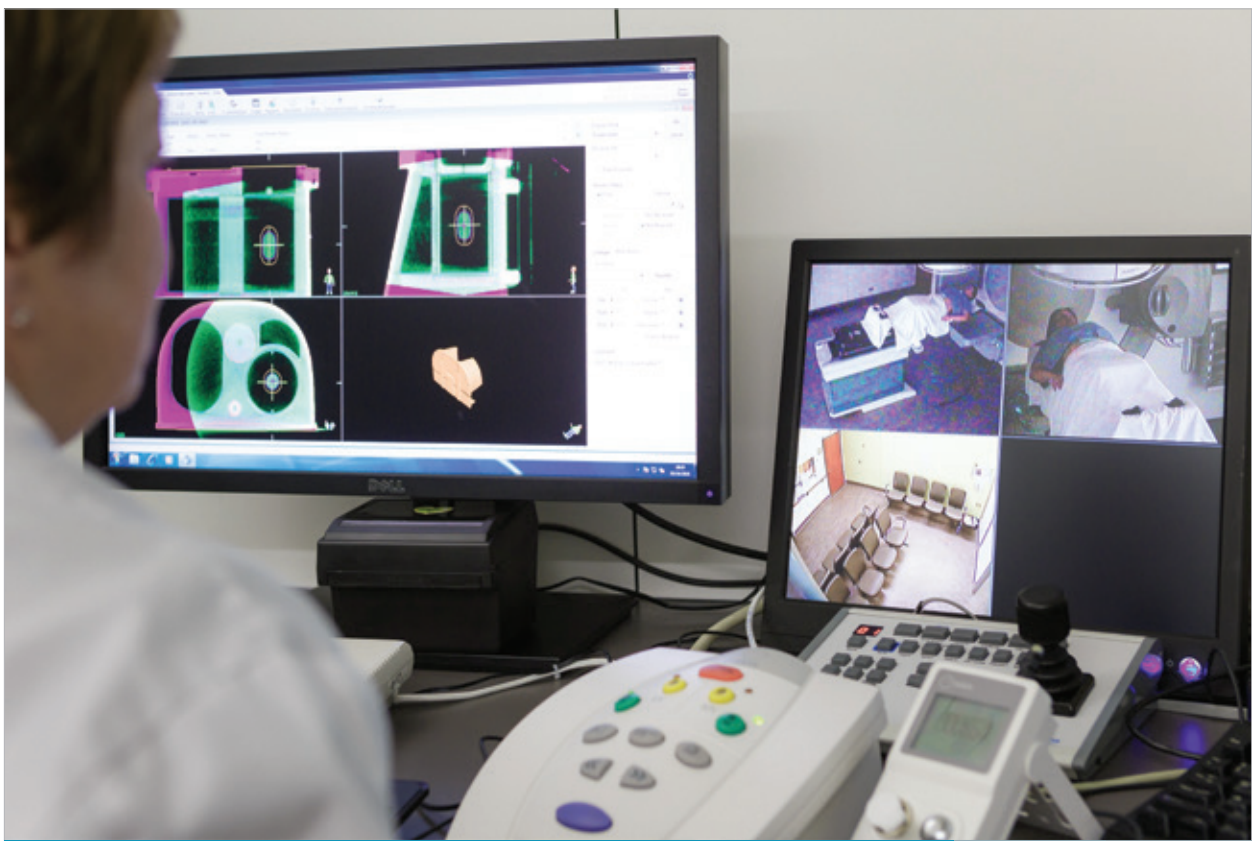


Figure 2 : Traitement de radiothérapie.



Figure 3 : Examen d'échographie.

le Dr Joubert. Par exemple, la radiologie, le profil des cellules immunitaires qui se trouvent dans les cellules tumorales, la génétique de la tumeur, la PDL1... On veut voir si, en regardant ces nombreux paramètres, on peut arriver à une signature qui va nous permettre d'identifier les patients qui vont répondre ou non à l'immunothérapie.» Les recherches, qui visent pour l'instant le cancer avancé du poumon, se font en collaboration avec l'entreprise québécoise d'intelligence artificielle Imagia.

Débusquer les cancers cachés

Alors que les médecins qui analysent des mammographies soupçonnent souvent la présence de cancer là où il n'y en a pas, ceux qui cherchent des cancers du foie sont pris avec le problème inverse. Des maladies comme la stéatose ou la

cirrhose viennent souvent masquer les tumeurs, si bien que de 20 à 40% des cas ne sont pas détectés par les échographies traditionnelles quand ces problèmes de santé sont aussi présents.

Guy Cloutier, chercheur au centre de recherche du CHUM, et le Dr An Tang, radiologue au CHUM, pensent qu'on peut faire mieux. Dans son laboratoire, Guy Cloutier a mis au point des techniques qui permettent de tirer plus d'information des échographies. (Figure 3) En analysant les ultrasons réfléchis par les tissus, il peut par exemple connaître l'élasticité et la viscosité de ces derniers. Il peut aussi savoir comment les composantes cellulaires sont organisées dans l'espace et sait à quel point les tissus atténuent les ultrasons envoyés.

«Un seul examen nous permet d'avoir plusieurs types d'analyses de la même région, et on veut voir

si ces signatures combinées nous permettent de dire si, oui ou non, le patient a un cancer», explique M. Cloutier.

Et pour analyser ces nombreuses informations, l'intelligence artificielle sera mise à profit. «On combine toutes les informations dans un algorithme d'apprentissage machine pour optimiser le diagnostic et la caractérisation de la tumeur», dit M. Cloutier. Des chercheurs de Polytechnique, mais aussi du laboratoire Mila de l'Université de Montréal, seront mis à contribution.

Les travaux se font avec le géant allemand Siemens, un des plus grands fabricants d'appareils d'échographie au monde. L'objectif est que les nouvelles fonctionnalités développées soient directement intégrées aux appareils dans le futur.

«Notre objectif est de faire des examens sur une centaine de patients, précise Guy Cloutier. On va alors voir si on fait un meilleur dépistage des tumeurs. Si c'est le cas, on compte appliquer pour d'autres programmes de financement pour poursuivre et, éventuellement, aller vers d'autres types de cancer plus complexes et plus difficilement identifiables en échographie.»

NOTES

[1] – Le concours Onco-Tech est organisé par l'Oncopole (un pôle de recherche québécois pour la lutte contre le cancer), le Consortium pancanadien de recherche industrielle et d'innovation en technologies médicales (MEDTEQ), l'Institut TransMedtech et la Société de recherche sur le cancer. Il vise à soutenir des travaux sur le cancer qui font le pont entre la recherche et l'industrie. Les travaux choisis feront l'objet d'un investissement total de 2,6 millions de dollars.

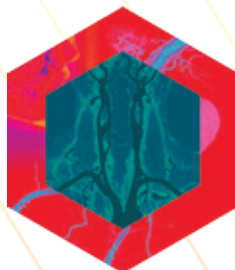
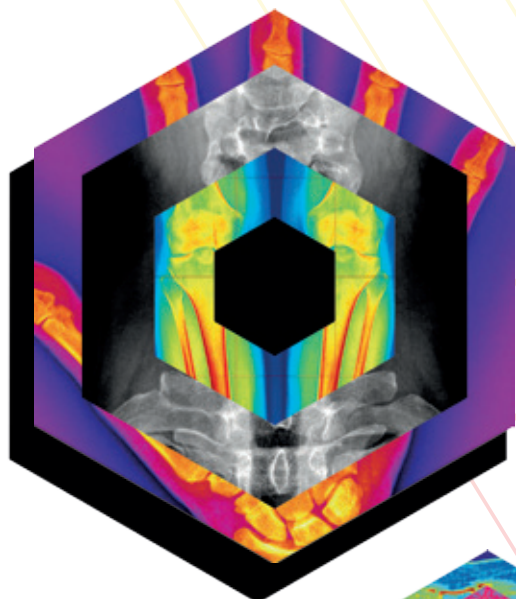
FIGURES

1, 2 et 3 – Figures tirées de la banque d'images de l'OTIMROEPMQ

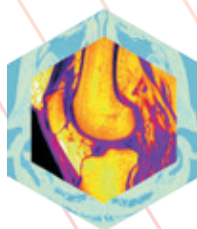
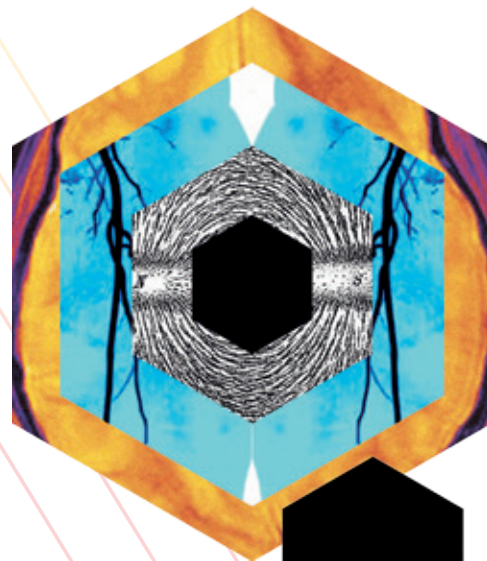
LA BEAUTÉ DE L'IMAGERIE



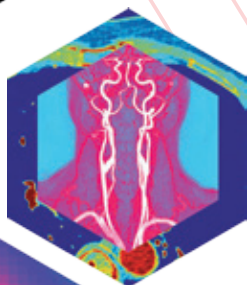
Radiographie /
Tomodensitométrie



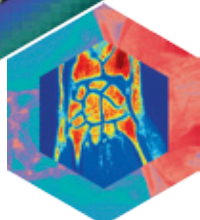
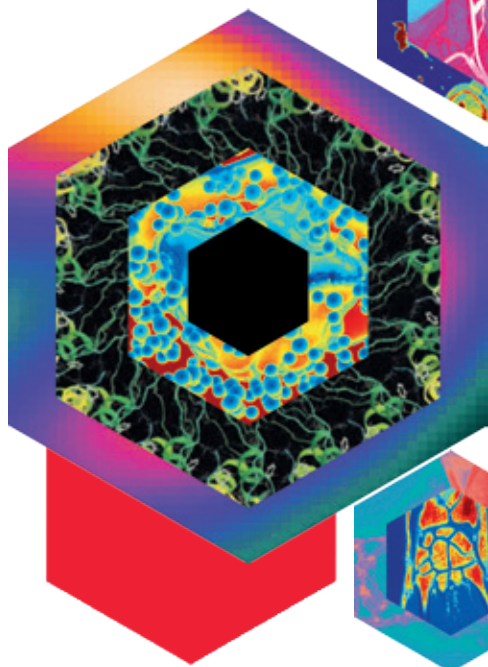
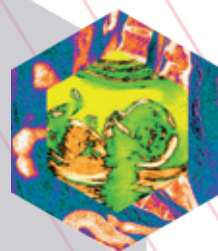
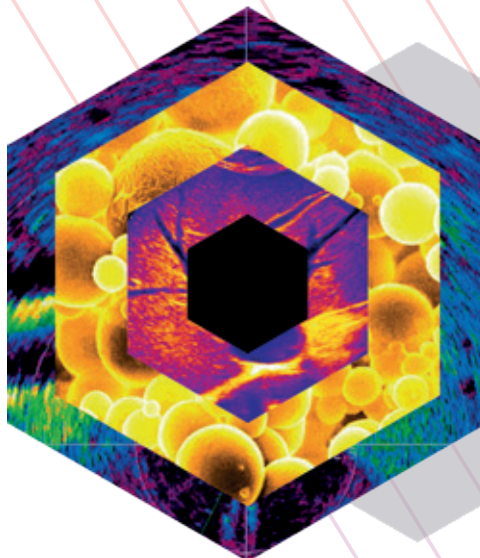
Résonance
Magnétique



Médecine
Nucléaire



Échographie



BRACCO IMAGING Canada

11065 boul. L-H. Lafontaine | Anjou QC | H1J 2Z4
www.imaging.bracco.com/ca-fr | 1-800-465-5820



Les neurotechnologies au service de l'épilepsie

Des modèles d'intelligence artificielle peuvent désormais prédire lorsqu'une crise épileptique s'amorce.



Alexandra Boucher,
B.Sc. psychologie

Étudiante en électrophysiologie médicale,
Collège Ahuntsic

Assistante de recherche, Laboratoire du sommeil - Hôpital Rivière-des-Prairies

Responsable de l'électroencéphalographie quantitative (EEGq),
analyste et formatrice,
Neurodegn Inc.

Le cerveau est à la base une machine complexe qu'il nous est possible de mieux comprendre à l'aide de plusieurs technologies de neuro-imagerie structurale et fonctionnelle, notamment l'imagerie par résonance magnétique, la tomодensitométrie, la tomographie par émission de positrons et la scintiscintigraphie radioactive. Parmi les méthodes de neuro-imagerie fonctionnelle figure également l'électroencéphalogramme, examen commun en électrophysiologie médicale, utilisé autant sur le plan clinique qu'en recherche. Depuis ses débuts en 1900, l'électroencéphalogramme a beaucoup évolué et est utilisé, de façon complémentaire à d'autres examens ou seul, pour évaluer plusieurs conditions neurologiques telles que l'épilepsie, les accidents vasculaires cérébraux, les traumatismes crâniens, les stades de coma ou pour comprendre différents processus cognitifs tels que l'attention, les processus mnésiques, les émotions, etc.

D'ailleurs, l'évolution de la technologie permet actuellement de rendre les appareils destinés à la compréhension du cerveau de l'humain de plus en plus performants et ainsi réussir à diagnostiquer des maladies de façon plus précise. Pour ainsi dire, les appareils utilisés dans le domaine médical deviennent si performants qu'ils tendent même à surpasser les compétences de l'humain. En électrophysiologie médicale, plusieurs systèmes technologiques qu'on manipule dans le cadre de nos fonctions utilisent de façon plus ou moins élaborée l'intelligence artificielle pour permettre une pratique plus minutieuse de notre travail. Par exemple, les appareils d'électrocardiogramme au repos sont dotés d'une capacité intégrée d'interprétation des données cardiaques. De façon plus élaborée, la nouvelle montre Apple Watch est maintenant capable d'effectuer un électrocardiogramme au repos. Bien que

les interprétations ne soient pas encore tout à fait parfaites, le principe de raisonnement de base de ces appareils y est.

Bien que l'intelligence artificielle soit très présente en cardiologie, elle l'est tout autant en neurologie grâce à l'avancement des neurotechnologies. À cet effet, les réseaux de neurones artificiels en sont de beaux exemples puisqu'ils sont à la base même de ce qu'est l'intelligence artificielle. D'ailleurs, en ce qui a trait à l'électroencéphalogramme, ces concepts sont utilisés à différents degrés.

Les modèles de base en intelligence artificielle sont constitués de sorte à imiter le principe de fonctionnement du neurone.

L'électroencéphalogramme et ses utilités

L'électroencéphalogramme est un examen avec lequel on mesure l'activité électrique du cerveau en ayant recours à un enregistrement en temps réel. Il est plus précisément le résultat complexe de la superposition de signaux électriques qui proviennent du cerveau. Lors de l'enregistrement, nous utilisons des capteurs, de petites électrodes, que nous positionnons sur le cuir chevelu du patient et qui permettent de capter les différences de potentiels électriques des neurones pyramidaux du cortex cérébral, soit l'activité neuronale recueillie au niveau des différentes couches corticales du cerveau. En centre hospitalier, il est possible de faire un électroencéphalogramme pour plusieurs raisons :

- Diagnostiquer et surveiller les troubles épileptiques;
- Faire le suivi d'une médication anticonvulsive;
- Localiser une activité électrique anormale au cerveau;
- Aider à la confirmation de l'emplacement d'une tumeur cérébrale;
- Aider à la compréhension d'une infection, d'un saignement ou d'une blessure à la tête;
- Évaluer les niveaux de conscience et les stades de coma;
- Monitorer les fonctions cognitives en salle de chirurgie...

Bien que l'électroencéphalogramme ait plusieurs raisons d'être, la plus courante est certainement la recherche ou la confirmation d'épilepsie à la suite d'une cause génétique, structurelle-métabolique ou inconnue.

L'épilepsie est un syndrome caractérisé par la survenue de crises se répétant à moyen ou à long terme, causées par des décharges anormales, soudaines et transitoires dans le cortex cérébral. À cet effet, selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS): « *l'épilepsie est l'une des maladies neurologiques les plus courantes et touche près de 50 millions de personnes dans le monde, toutes tranches d'âge confondues* ». De ce fait, environ 65% des personnes épileptiques seraient bien contrôlées par une médication, tandis que 35% continueraient de subir des crises pouvant s'accompagner de chutes, de blessures, de fractures, d'anoxie cérébrale, de perte de conscience ou, dans de plus rares cas, d'un décès.

Dans le but de minimiser les risques de cette population aux prises avec l'épilepsie, il est donc important de reconnaître les signes annonciateurs et de porter une attention particulière aux interventions que cette condition peut nécessiter. Sur ce plan, des modèles d'intelligence artificielle permettent une avancée significative dans l'intervention auprès des patients épileptiques. Il est désormais possible de prédire les crises d'épilepsie avant qu'elles ne surviennent, de la même façon qu'on peut prédire la météo. Bien que l'épilepsie ne se résume pas qu'à des symptômes de convulsions, plusieurs patients épileptiques ne sentent pas venir leurs crises, particulièrement lorsqu'il s'agit d'épilepsie généralisée. Par conséquent, c'est à ce niveau de prédictibilité des crises que l'intelligence artificielle peut intervenir, de façon à donner suffisamment de temps à un patient ou à son entourage pour comprendre qu'une crise s'amorce. Ainsi, l'entourage serait davantage en mesure de prendre les moyens qui s'imposent pour intervenir de façon appropriée.

À bien y penser, cette prédiction des crises épileptiques pourrait même permettre d'administrer des médicaments dans l'immédiat afin d'éviter la crise avant même qu'elle ne débute.

Une intelligence artificielle peut actuellement prédire les crises d'épilepsie avec une précision de 99,6%.

La base du fonctionnement cérébral reproduit en intelligence artificielle

Pour comprendre le principe de base du fonctionnement de l'intelligence artificielle qui permet toutes ces avancées

technologiques, il faut d'abord savoir la façon dont fonctionne le cerveau. La cellule de base du cerveau est le neurone et, de façon simple, le neurone est constitué de trois parties majeures :

1. Le corps cellulaire : il contient le noyau de la cellule et il est entouré de dendrites, qui font la connexion avec les synapses des neurones voisins;
2. L'axone : c'est le prolongement du corps cellulaire qui conduit l'influx nerveux jusqu'à la synapse;
3. La synapse : elle contient une partie présynaptique, une fente synaptique ainsi qu'une partie postsynaptique permettant de transmettre l'influx nerveux transformé en neurotransmetteur au neurone suivant.

Le neurone fonctionne donc de sorte à recevoir ainsi qu'à émettre de l'information nerveuse. Cette information est toujours transmise sous forme d'influx nerveux qui voyage tout au long du neurone, partant du corps cellulaire et se propageant le long de l'axone pour atteindre la synapse. **(Figure 1)**

L'intelligence artificielle, quant à elle, représente l'ensemble des théories et des mises en œuvre introduites à un appareil pour simuler l'intelligence d'un humain. Les modèles de base en intelligence artificielle sont constitués de sorte à imiter le principe de fonctionnement du neurone. Il s'agit donc d'amener l'appareil à penser ou à agir comme l'humain en utilisant un système informatique qui réplique le fonctionnement du neurone par le biais de schémas de données brutes que l'on archive dans ledit modèle. Plus la quantité de données incorporées dans le système est élevée et pertinente, plus le modèle d'intelligence artificielle donne des résultats probants et représentatifs de la réalité, car le système est ensuite entraîné à faire des connexions entre les différentes données, comme un neurone fait la connexion avec son neurone voisin pour lui acheminer l'information et produire une réponse pour cette information. C'est ainsi que les réseaux de neurones artificiels ont été inventés. Une première séquence de données est introduite dans le modèle (*input*), faisant référence à l'information sensorielle captée par les sens de l'humain. Les données sont ensuite cumulées à d'autres données pour ainsi créer des réseaux de données connectées les unes aux autres et ainsi obtenir un résultat (*output*) représentant la prise de décision finale du modèle. Afin d'évoluer et de s'améliorer, de la même façon que l'humain, le modèle d'intelligence artificielle est capable

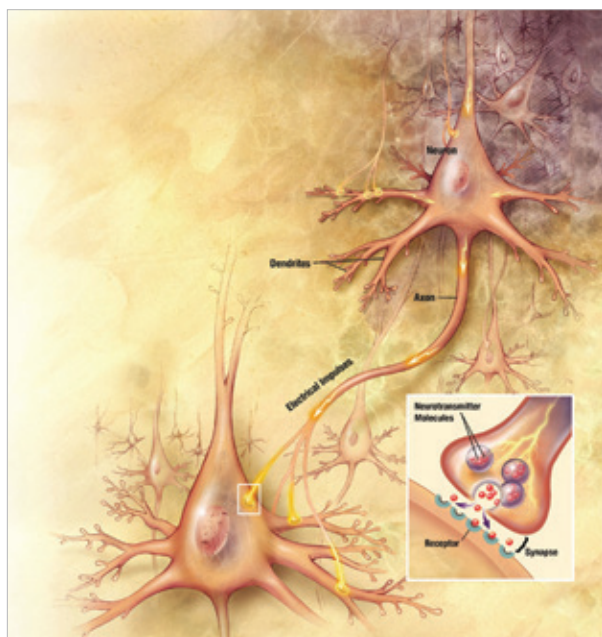


Figure 1 : Le neurone.

d'apprendre, par l'entremise d'algorithmes, lorsque des données supplémentaires lui sont fournies. Ainsi, c'est grâce à ces réseaux de neurones artificiels, représentés par des schémas de données préalablement existantes, que le modèle apprend à reconnaître, interpréter ou effectuer quelque chose. **(Figure 2)**

Contribution de l'intelligence artificielle en électrophysiologie médicale

De nos jours, force est de constater que la technologie est devenue nécessaire à l'innovation de méthodes précises et élaborées qui sont bénéfiques aux soins apportés aux patients. Que ce soit au niveau des méthodes de traitements des troubles cognitifs, de la rééducation post-AVC contrôlée par des signaux cérébraux, de la prédiction de crises épileptiques ou autre, l'intelligence artificielle est maintenant partout et apporte une énorme contribution à l'avancement de la médecine et de ses traitements. En électrophysiologie médicale, les modèles d'intelligence artificielle émergent de plus en plus sur le plan de l'épilepsie réfractaire à la médication, puisque les patients qui en sont atteints représentent une population avec laquelle nous travaillons régulièrement. À cet effet, depuis quelques années, il est possible pour un système d'électroencéphalographie de faire la détection automatique de pointes épileptiques. Ceci se fait grâce aux réseaux de neurones artificiels créés en utilisant des données brutes extraites d'électroencéphalogrammes faits sur des patients aux prises avec de l'épilepsie. Par conséquent, une intelligence artificielle peut actuellement prédire les crises d'épilepsie avec une précision de 99,6%.

D'ailleurs, des chercheurs de la Faculté de médecine de l'Université de Montréal ont déjà commencé à penser à la conception de microsystèmes implantables dans le cerveau, qui enregistraient en continu l'activité cérébrale. Ces microsystèmes fonctionneraient en étant associés à un algorithme de détection de crises par le biais d'un modèle d'intelligence artificielle basé sur un système de réseaux de neurones artificiels. Ainsi, ce dispositif, ayant été « nourri » et entraîné avec des données déjà existantes, arriverait désormais à reconnaître les types de pointes épileptiques présentes lors d'une crise, ainsi que les différentes ondes cérébrales retrouvées dans les crises qui nous permettent de mieux cerner le type d'épilepsie rencontré sur un électroencéphalogramme. Puisque les patients ayant des crises d'épilepsie peuvent présenter plusieurs symptômes associés à la crise tels que des automatismes, des mouvements et des changements dans les signes vitaux, les chercheurs ont étudié des signaux électrophysiologiques autres que les signaux cérébraux, notamment les fréquences cardiaque et respiratoire, l'activité musculaire et l'activité électrodermale avant, pendant et après une crise afin de bâtir le modèle. Cette méthode est toutefois invasive et pourrait ne pas être utilisée chez tous les patients. Par conséquent, parallèlement à ce modèle, la même équipe

travaille à l'élaboration d'une ligne de vêtements dits intelligents, basé sur les prémisses précédentes, qui seraient en mesure de détecter les crises sans être invasifs.

Un avenir aussi prometteur que reflété ?

Bien que le domaine de l'intelligence artificielle soit un domaine qui nous permet désormais de grandes avancées médicales, il demeure en constante expansion. De plus, malgré que la recherche permette maintenant de prédire les crises d'épilepsie avec une précision de 99,6%, la tâche demeure complexe par le simple fait que les symptômes, la fréquence et l'intensité des crises sont des données qui varient beaucoup d'un patient à l'autre. D'ailleurs, il semble que nous soyons encore loin de modèles applicables à tous les patients aux prises avec de l'épilepsie réfractaire à la médication, que ce soit à l'échelle nationale ou mondiale. Il n'en demeure pas moins que la recherche et l'avancement des connaissances scientifiques, peu importe la branche médicale, sont liées à la compréhension et à l'adaptation de la technologie à l'égard de l'évolution de l'humain. En contrepartie, tout ceci laisse

place à plusieurs débats entourant l'éthique en lien avec le développement de ces nouvelles neurotechnologies. Quelle place sommes-nous prêts à laisser aux technologies? Jusqu'à quel point est-il possible de dénaturer la nature humaine? Jusqu'à quel point l'éthique des recherches en neurotechnologies est-elle contrôlée? L'avenir de l'intelligence artificielle est-il tout aussi prometteur que la rapidité de son avancement? Ce sont toutes des questions légitimes qui demeurent, pour le moment, malheureusement sans réponses claires, mais qui ouvrent la porte à de nombreuses discussions des plus intéressantes.

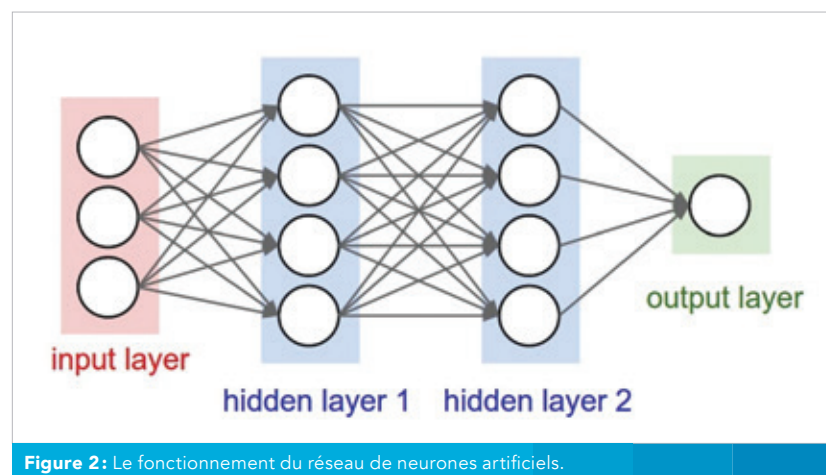


Figure 2 : Le fonctionnement du réseau de neurones artificiels.

RÉFÉRENCES

1 – BASTIEN, L., *Réseau de neurones artificiels : qu'est-ce que c'est et à quoi ça sert ?*, [En ligne], 05 avril 2019. [https://www.lebigdata.fr/reseau-de-neurones-artificiels-definition] (Consulté en janvier 2020).

2 – NGUYES, Dr Dang Khoa, *L'intelligence artificielle pour un meilleur contrôle de l'épilepsie réfractaire*, [En ligne], UDEMNOUVELLES, 27 novembre 2018. [https://nouvelles.umontreal.ca/article/2018/11/27/-intelligence-artificielle-pour-un-meilleur-contrôle-de-l-épilepsie-réfractaire/] (Consulté en janvier 2020).

3 – O'REILLY, Christian, Nadia Gosselin, Julie Carrier, Tore Nielsen, *Montreal Archive of Sleep Studies: an open-access resource for instrument benchmarking and exploratory research*, [En ligne], *Journal of Sleep Research*, Volume 23, Issue 6, Décembre 2014, 628-635. [https://doi.org/10.1111/jsr.12169] (Consulté en janvier 2020).

4 – ROY, Yannick et al., *Deep learning-based electroencephalography analysis: a systematic review*, [En ligne], *Journal of Neural Engineering*, Volume 16, Number 5, 14 août 2019. [https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1741-2552/ab260c/pdf] (Consulté en janvier 2020).

5 – *Une intelligence artificielle peut prédire les crises d'épilepsie avec une précision de 99,6%*, [En ligne] Pharmabio, 07 septembre 2019. [https://pharmabio.qc.ca/une-intelligence-artificielle-peut-predire-les-crisis-depilepsie-avec-une-precision-de-996/] (Consulté en janvier 2020).

6 – *Agir contre l'épilepsie : Un impératif de santé publique*. Résumé. Genève, [En ligne], Organisation mondiale de la Santé, 2019. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/325443/WHO-MSD-MER-19.2-fre.pdf] (Consulté en janvier 2020).

7 – *Connaître l'action des drogues sur le cerveau*, [En ligne] Doctissimo, 2015. [https://www.doctissimo.fr/html/dossiers/drogues/mildt/principales-drogues-action-cerveau.htm] (Consulté en janvier 2020).

8 – *L'intelligence artificielle au service de l'épilepsie*, [En ligne] Gouvernement du Québec, 15 janvier 2019. [http://www.scientifique-en-chef.gouv.qc.ca/impacts/lintelligence-artificielle-au-service-de-lepilepsie/] (Consulté en janvier 2020).

FIGURES

1 – *Le neurone – Synapse*, [En ligne] Wikipédia, 2020. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Synapse] (Consulté en mars 2020).

2 – *Les réseaux de neurones artificiels – BASTIEN, L., Réseau de neurones artificiels : qu'est-ce que c'est et à quoi ça sert ?*, [En ligne], 5 avril 2019. [https://www.lebigdata.fr/reseau-de-neurones-artificiels-definition] (Consulté en janvier 2020).



L'intelligence artificielle

au service de l'échographie médicale : une innovation disruptive aux perspectives révolutionnaires pour la santé

L'intelligence artificielle (IA) connaît de grands progrès en imagerie médicale. NHance a été l'une des premières équipes à appliquer l'IA en échographie.



Fanny Joujou,
manipulatrice
en échographie

Hôpital Saint Louis
- Paris



Kamel Khezzane,
manipulateur
en échographie

Hôpital Saint Louis
- Paris

Note de la rédaction : article publié pour la première fois dans Le Manipulateur d'imagerie médicale et de radiothérapie. 2019 septembre ; 289 : 36-40, et reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur et du directeur de la publication.

Introduction

L'intelligence artificielle (IA) n'est plus un enjeu de santé publique futur, mais bien présent. En témoignage, l'action du gouvernement a présenté, fin 2018, sa stratégie nationale de recherche en intelligence artificielle, qui prévoit 665 millions d'euros de dépenses jusqu'en 2022. Il souhaite capitaliser sur la tradition française de recherche en mathématique pour se hisser au plus haut niveau.

L'apprentissage profond (*deep learning*) est une technique d'IA qui permet à un algorithme d'apprendre à interpréter des images. Ces algorithmes dévoilent aujourd'hui des performances égalant, voire dépassant, celles de

l'homme en imagerie médicale^{1,2}. En 2018, l'Agence américaine du Médicament (FDA) a autorisé pour la première fois une IA à identifier la rétinopathie diabétique. Ce protocole associant des experts paramédicaux a un rapport coût/efficacité inédit. Les patients dont les examens sont jugés anormaux sont dirigés vers un ophtalmologue pour la suite de la prise en charge².

L'échographie est l'objet d'un intérêt grandissant dans la pratique clinique. Elle connaît un déploiement massif poussé par un coût en chute libre, un matériel plus pratique et une utilité médicale de plus en plus démontrée, notamment au chevet du patient aux urgences³. Le frein reste aujourd'hui encore la difficulté d'interprétation des images³. La révolution du secteur de l'échographie a déjà commencé.

Notre équipe est pluridisciplinaire est composée d'ingénieurs, de médecins, et de quatre manipulateurs en radiologie (MERM)



Anne-Laure
Rousseau*, médecin

Centre radiologique
Hôpital Européen
Georges Pompidou
et à l'Hôpital Robert
Debré - Paris



Thibaut Duguet**,
ingénieur

Deepomatic - Paris

* Absence de conflits d'intérêts déclarés par les auteurs

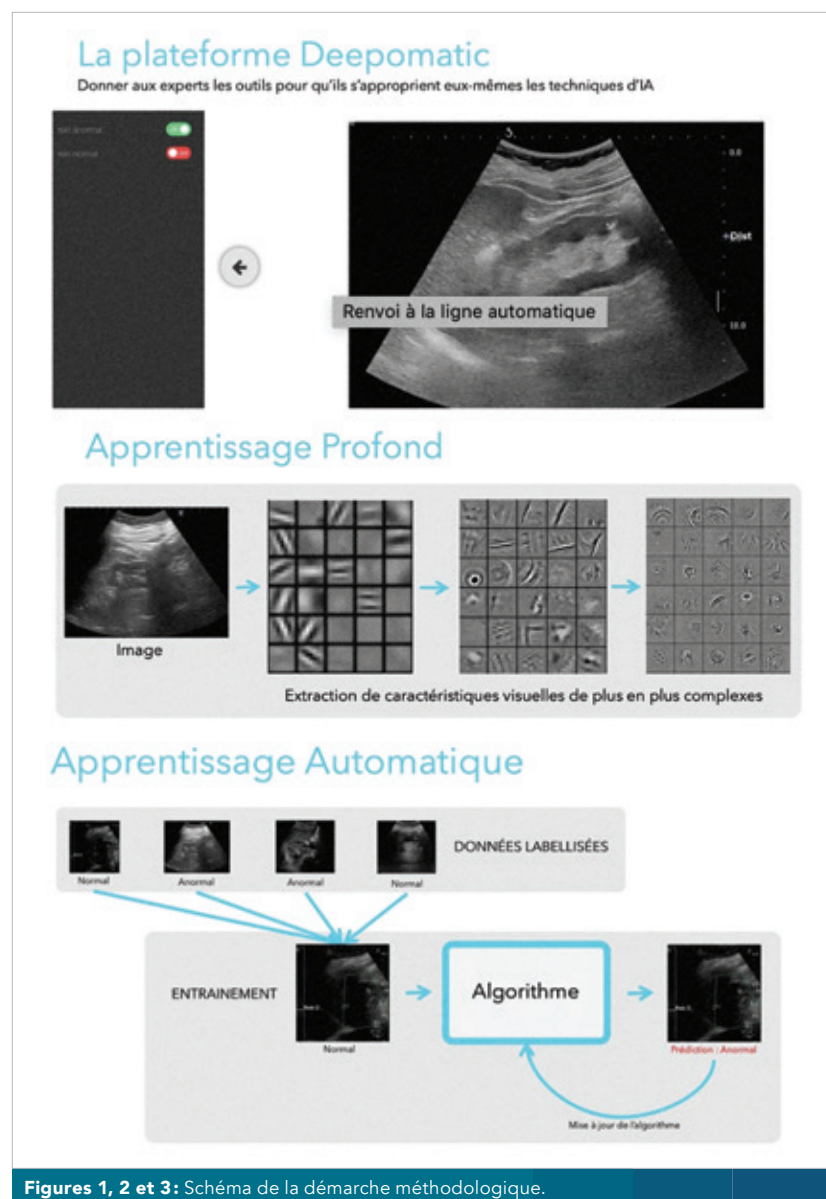
** L'auteur déclare des conflits d'intérêts

titulaires du DIU-EA^[1] et expérimentés en échographie: Fanny Joujou, Kamel Khezzane, Annie Graul, Gervais Gbabodé. La Dre Anne-Laure Rousseau a réuni une équipe qui a été parmi les premières à appliquer des algorithmes d'IA à l'échographie médicale. Et nous sommes les seuls, à notre connaissance, à travailler dans le cadre d'une ONG^[2]: NHance (www.nhance.ngo)^[3] dont l'objectif est de mettre au point et de distribuer des solutions en santé basées sur l'IA afin qu'elles profitent au plus grand nombre de patients. L'équipe de NHance a validé la pertinence de l'apprentissage profond pour l'échographie dans le cadre d'une étude préliminaire avec le Professeur Éric de Kerviler, chef de service de radiologie à l'hôpital Saint Louis de Paris.

L'intelligence artificielle n'est plus un enjeu de santé publique futur, mais bien présent.

Matériel et méthode

Notre équipe multidisciplinaire a construit une base de 3294 images échographiques de foie provenant de différents services partenaires de NHance. Une équipe de médecins et de manipulateurs a classé les images et déterminé les zones d'intérêt dans l'image (annotation des images). Nous avons retiré 271 images sur lesquelles



Figures 1, 2 et 3: Schéma de la démarche méthodologique.

les lésions n'étaient pas visibles en échographie mode B (ces lésions étaient toutefois visibles en échographie de contraste, TDM ou IRM). Nous avons également retiré 264 images qui n'étaient pas d'une qualité suffisante pour être analysées (images extrêmement zoomées, ou images dont la résolution spatiale ou latérale est insuffisante). Nos algorithmes d'IA ont finalement été entraînés et testés sur 2759 images grâce à la plateforme d'IA de la Start up Deepomatic avec Thibaut Duguet.

Le classement des images selon des pathologies précises ou des groupes de pathologies permet, à l'aide d'ingénieurs qualifiés, d'entraîner, c'est-à-dire de paramétrer, des algorithmes d'IA afin de reconnaître une pathologie dans une image ou son caractère normal. Il s'agit de computer vision ou vision assistée par ordinateur. Ainsi nos algorithmes d'IA permettent d'assister à l'interprétation d'échographies.

Voici le schéma qui explique notre démarche méthodologique. **(Figures 1, 2 et 3)**

Résultats - Caractérisation de la lésion

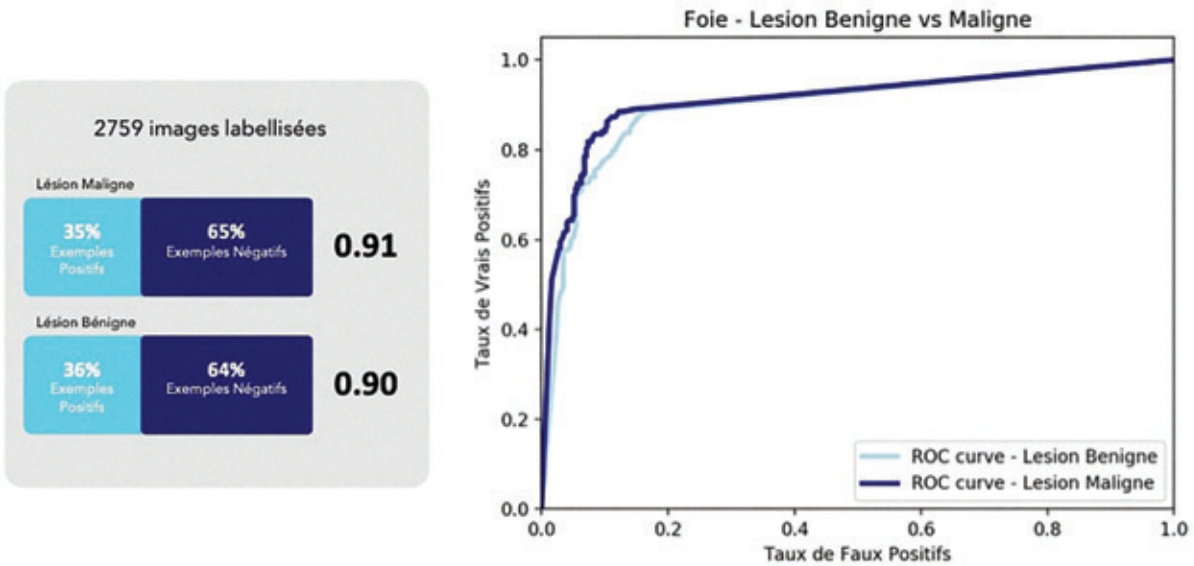


Figure 4 : Nos algorithmes d'apprentissage en profondeur présentent un AU-ROC de 0,90 pour la caractérisation d'une lésion hépatique bénigne et plus de 0,90 pour une lésion maligne du foie.

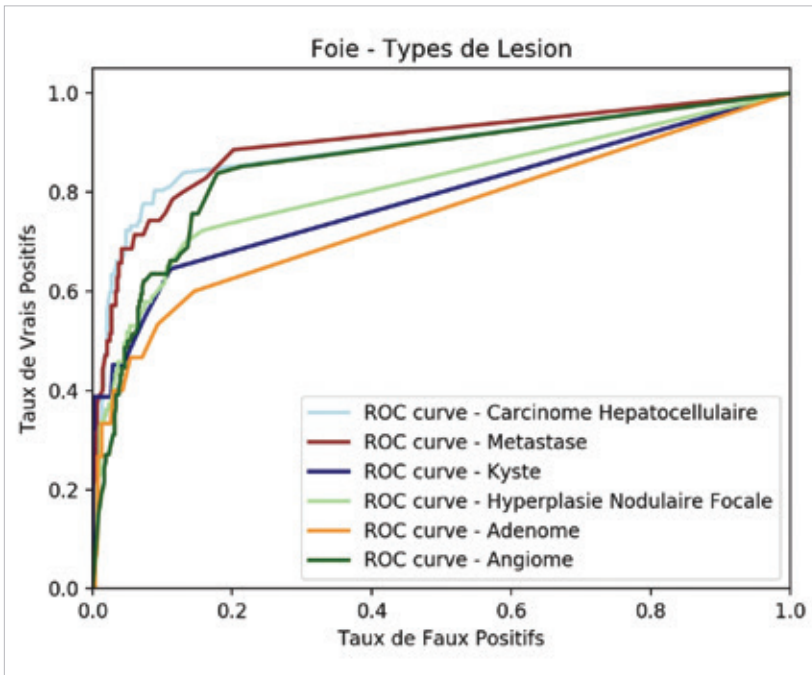


Figure 5 : Aires sous les courbes ROC pour la caractérisation des lésions hépatiques.

Nous avons réussi à créer des algorithmes capables de détecter une lésion hépatique avec une sensibilité et une spécificité de plus de 90%.

Résultat

Nos résultats sont prometteurs. En effet aujourd'hui, nous avons réussi à créer des algorithmes capables de détecter une lésion hépatique avec une sensibilité et une spécificité de plus de 90%.

Pour mesurer les performances de notre modèle, nous utilisons les courbes ROC (*Receiver Operating characteristic Curves*). Les aires sous les courbes ROC (AU-ROC) quantifient les capacités de discrimination des algorithmes de détection d'une maladie par rapport au diagnostic établi par l'équipe médicale de NHance. Plus la valeur AU-ROC est élevée, plus le modèle sait distinguer les patients atteints ou non de pathologies.

Nous avons travaillé sur des images d'échographie du foie. L'incidence et la mortalité des maladies du foie augmentent chaque année. Nos algorithmes d'apprentissage en profondeur présentent un AU-ROC de 0,90 pour la caractérisation d'une lésion hépatique bénigne et plus de 0,90 pour une lésion maligne du foie. (**Figure 4**) Pour un expert, l'AUROC pour discriminer les masses malignes de masses bénignes était de 0,724 (IC à 95%, 0,566-0,883, $p = 0,048$) dans l'étude de Hana Park et al⁵.

Nous avons également déterminé les aires sous les courbes ROC pour la caractérisation des lésions hépatiques malignes suivantes: carcinome hépatocellulaire, métastase, adénome; ainsi que pour les lésions hépatiques bénignes suivantes: kyste et angiome. (**Figure 5**)

Discussion

Notre équipe souhaite continuer de développer ces algorithmes d'IA dans le cadre de la pathologie abdominale qui est l'un des motifs les plus fréquents de consultation dans les services d'accueil des urgences. Le volume de données de l'Entrepôt des Données de Santé (EDS)^[4] devrait permettre une qualité de performance des algorithmes

Notre équipe souhaite continuer de développer ces algorithmes d'IA dans le cadre de la pathologie abdominale qui est l'un des motifs les plus fréquents de consultation dans les services d'accueil des urgences.

sans précédent. En effet, l'EDS une initiative de l'Assistance Publique Hôpitaux de Paris qui réunit les données de plus de 8,8 millions de patients et permet de mettre en place des études d'une ampleur inédite. L'enjeu est de sécuriser un manipulateur en échographie par un deuxième avis pertinent, qui permet de le faire monter en compétence plus rapidement. Notre hypothèse est qu'une IA pourrait assister les manipulateurs en échographie dans la pratique d'échographies nécessaires pour une douleur abdominale et aider un MERM à gagner encore en autonomie et à contribuer à augmenter la qualité des soins.

C'est la raison pour laquelle Fanny Joujou a déposé une lettre d'intention pour un PHRIP (Programme hospitalier de recherche infirmière et paramédicale) au ministère des Solidarités et de la Santé, fin mars 2019, sous l'acronyme « **IAM**: l'Intelligence artificielle au service des Manipulateurs en radiologie ». Ce projet a pour finalité d'aider à la prise en charge des patients consultant pour une douleur abdominale aiguë aux urgences. Ces douleurs abdominales aiguës sont un motif extrêmement fréquent de consultation. Elles représentent à elles seules 10% des consultations aux urgences en France (Bouillot, Congrès AFC

2004), soit environ 2,12 millions de causes de recours aux urgences en 2016 (rapport annuel de la Cour des comptes 2019). Dans ces situations cliniques, le recours à l'imagerie est usuel et dans de nombreuses situations cliniques, l'échographie a un meilleur coût-efficacité que le scanner et l'IRM^{2,4}. D'autre part, le nombre de demandes d'imagerie et le nombre d'images produites par examen ont explosé en radiologie et continuent de croître. Il apparaît donc que les premières étapes de l'analyse d'image pourraient être déléguées à des MERM dont l'expertise pour l'acquisition des images échographiques est validée (DIU-EA) avec l'assistance d'IA de hautes sensibilités et spécificités pour les tâches concernées. Les patients présentant des clichés échographiques anormaux seraient orientés vers un radiologue dont la productivité est augmentée et l'expertise valorisée. Le radiologue serait moins sollicité sur les cas normaux et gagnerait du temps pour se concentrer sur les cas complexes.

L'objectif de ce projet de recherche est d'évaluer les performances diagnostiques d'algorithmes d'IA appliqués à l'échographie pour détecter une cholécystite, un épanchement de l'espace hépatorénal (espace de Morrison), une dilatation des cavités pyélocalicielles. D'autre

part, nous évaluerons de manière multicentrique l'intérêt d'algorithmes d'IA sur l'organisation des services de radiologie dans le cadre du protocole de coopération manipulateurs en échographie-radiologues. Une équipe de manipulateurs en échographie et de médecins aidera à annoter et classer une base de données de 120 000 images en fonction des pathologies éventuellement visibles. Ce travail permettra d'entraîner des algorithmes d'IA et ensuite de les tester. Les algorithmes analyseront en temps réel les images réalisées dans les services partenaires du projet: le service de radiologie de l'hôpital Saint Louis du Professeur de Kerviler avec Fanny Joujou et Kamel Khezzane et le service de radiologie de l'hôpital de La Pitié Salpêtrière du Professeur Lucidarme avec Anthony Vannerom et Charles Doulin. Le projet est coordonné par Anne-Laure Rousseau, la présidente de NHance. Les résultats attendus de nos algorithmes sont des résultats aussi performants qu'un expert en imagerie. La diffusion de l'utilisation de l'échographie au chevet du patient associée à l'apprentissage profond permettra d'améliorer la personnalisation des soins, de diminuer le caractère opérateur dépendant de l'examen, et donc de contribuer à réaliser des diagnostics plus précoces et plus fiables.^{2,4}

Les retombées de ce projet sont multiples. Tout d'abord, les bases d'images annotées en échographie dans le cadre de ce projet constituent une encyclopédie d'imagerie échographique d'une taille inédite pour les praticiens qui souhaitent se former. D'autre part, des bénéfices sont attendus pour la santé publique avec une maîtrise des dépenses en imagerie et une amélioration du parcours de soins.

Par ailleurs, le 23 avril 2019 notre équipe a présenté au colloque du Collège de France «Imagerie médicale à l'heure de l'IA: défis et opportunités» le sujet «L'intelligence artificielle associée à l'échographie: une innovation de rupture dans la prise en charge médicale.» (Anne-Laure Rousseau, APHP, projet NHance Inria/EDS, et Thibaut Duguet, Deepomatic). Cette intervention a notamment mis l'accent sur la participation active des manipulateurs en échographie dans ce projet d'IA et a reçu les félicitations de Gérard Berry, titulaire de la Chaire algorithmes, machines et langages au Collège de France!

Conclusion

L'IA appliquée à l'échographie est une innovation de rupture qui constitue un atout pour toutes les parties prenantes du corps médical et particulièrement pour les MERM diplômés en échographie. Notre équipe NHance a remporté la 2^e place du Data Challenge aux

JFR^[5] 2018, dans la catégorie «Caractérisation des lésions hépatiques en échographie». Notre algorithme a été testé devant un jury d'experts. Les résultats sont prometteurs et positifs.

L'IA appliquée à l'échographie possède de nombreux avantages. Elle permettra à la fois de traiter plus de patients, de personnaliser les soins, de diminuer les erreurs en imagerie et surtout, grâce au temps gagné, elle permettra de redonner aux professionnels de santé du temps auprès du patient, car seul l'humain peut donner un véritable sens aux soins. Nos recherches mettent en lumière la réussite de la formation des manipulateurs en échographie et l'aide que les MERM peuvent apporter dans une prise en charge multidisciplinaire du patient.

NOTES

[1] – Diplôme inter universitaire - Échographie d'acquisition

[2] – Organisation non gouvernementale

[3] – Enhance quality of care for everyone = Améliorer la qualité des soins pour tous

[4] – <https://recherche.aphp.fr/eds/> Ce portail d'information sur l'Entrepôt de Données de Santé de l'AP-HP est destiné aux patients et aux professionnels de santé. L'EDS est autorisé par la CNIL depuis le 19 janvier 2017

[5] – Journées francophones de radiologie diagnostique et interventionnelle

RÉFÉRENCES

1 – Russakovsky, O, Deng J., Su H. et al. Imagenet large scale visual recognition challenge. *Int. J. Comput. Vis.* 115, 211–252 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11263-015-0816-y>

2 – Choy G., Khalilzadeh O., Michalsky M. et al. Current applications and future impact of Machine Learning in Radiology. *2018 Jun 26;171820.* <https://doi.org/10.1148/radiol.2018171820>

3 – Moore, C., JA Copel, Point-of-Care Ultrasonography *N Engl J Med.* 2011 Feb 24; 364(8):749-57. <https://doi.org/10.1056/NEJMr0909487>

4 – Jha S, Topol EJ. Adapting to Artificial Intelligence Radiologists and Pathologists as Information Specialists. *JAMA.* 2016 ;316(22):2353–2354. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17438>

5 – Park H, Park JY, Kim DY, Ahn SH, Chon CY, Han K-H, et al. Characterization of focal liver masses using acoustic radiation force impulse elastography. *World J. Gastroenterol.* 14 janv 2013 ; 19(2):219-226. <https://doi.org/10.3748/wjg.v19.i2.219>

REMERCIEMENTS

Pr Eric de Kerviler, Pr Cédric de Bazelaire, Dr Pierre Bourrier, Mr René Jean-Baptiste, Mme Karima Benkenane, Mme Martine Grenier-Vassel



Intelligence artificielle en imagerie

L'intelligence artificielle couvre un domaine des sciences informatiques visant à faire réaliser des tâches par un ordinateur, qui apprend et s'améliore de manière autonome.

Laure Fournier*,
PU-PH

Hôpital européen
Georges Pompidou,
Université de Paris –
Paris

Loïc Duron*,
PARCC équipe 2,
INSERM U970,

Université de Paris –
Paris



Hélène Kovacsik*,
PU-PH

Hôpital Arnaud
de Villeneuve,
CHU Montpellier –
Montpellier

Note de la rédaction : article publié pour la première fois dans Le Manipulateur d'imagerie médicale et de radiothérapie. 2019 septembre ; 289 : 12-16, et reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur et du directeur de la publication.

Introduction

L'intelligence artificielle (IA) est un domaine des sciences informatiques dont l'objectif est de créer des programmes réalisant des tâches normalement dévolues à l'intelligence humaine, et donc la simulant. Ce terme date des années 1950 et regroupe un grand nombre de domaines scientifiques qui peuvent impacter nos pratiques. Un sous-domaine de l'intelligence artificielle est l'apprentissage automatique (*machine learning*) où les machines apprennent par expérience à partir de données et acquièrent des compétences sans intervention humaine, c'est-à-dire sans y être explicitement programmées. En pratique, un jeu de données est fourni à la machine (*input*) et elle va s'entraîner à prédire la sortie souhaitée (*output*), par exemple si une lésion est bénigne ou maligne (cette phase est appelée entraînement). La machine exécute cette tâche de manière itérative, en affinant l'algorithme à chaque itération pour améliorer le résultat, de manière « autonome » de l'intervention humaine. Une fois la machine entraînée, on peut lui envoyer en *input* de nouveaux ensembles de données pour qu'elle prédise s'il s'agit d'une lésion bénigne ou

maligne (cette phase est appelée inférence). L'apprentissage profond (*deep learning*) est un sous-type de *machine learning*, utilisant des réseaux de neurones, algorithmes inspirés du cerveau humain, à partir de grandes quantités de données. C'est le développement récent de l'apprentissage profond qui a entraîné un regain d'intérêt pour l'intelligence artificielle en médecine et en particulier en imagerie médicale, car ces techniques ont permis de réaliser des tâches de manière beaucoup plus efficace que les outils utilisés précédemment, avec des performances suffisantes pour être utiles en routine clinique. La théorie derrière les réseaux de neurones date aussi des années 1950 et les principes de leur optimisation date des années 1980, mais ce sont les développements récents en puissance de calcul, en architecture des réseaux et la disponibilité de jeux de données numériques qui ont permis son essor actuel.

* L'auteur déclare des conflits d'intérêt

** Absence de conflits d'intérêts déclarés par les auteurs



De la classification de photos sur Internet à l'imagerie médicale...

Le domaine de la vision assistée par ordinateur (*computer vision*) est devenu l'une des applications principales de l'intelligence artificielle. D'énormes bases de données sur Internet d'animaux (chats, chiens...) et d'objets (voitures, grille-pain...) ont permis de mettre en place de grands *challenges* ouverts au monde entier pour que les équipes (industriels, académiques, geeks indépendants) puissent rivaliser pour tester leurs algorithmes de reconnaissance d'images. ImageNet (ILSVRC)^[1], le *challenge* le plus connu et contenant une dizaine de millions d'images, a été bouleversé en 2012 par une équipe académique canadienne qui, grâce à un réseau de neurones, a permis d'améliorer de 10% les performances des meilleurs algorithmes qui plafonnaient autour

Le principe est d'« apprendre » à l'algorithme à reconstituer une image nette à partir d'une image très bruitée.

d'un taux d'erreur de 25%! Ces performances qui ne cessent de s'améliorer (<5% d'erreurs en 2015) ont permis d'envisager des applications qui relevaient jusque-là de la science-fiction telles que la voiture autonome. Il n'a fallu qu'un pas pour que les algorithmes profonds qui étaient capables de détecter ou de reconnaître un objet dans une image soient appliqués à l'imagerie médicale pour détecter (normal/anormal) ou caractériser (bénin/malin) les lésions. D'autant plus qu'une des caractéristiques de ces algorithmes profonds est leur transférabilité d'une problématique à l'autre (*transfer learning*). Ainsi, un étudiant en médecine un peu entreprenant a appliqué un algorithme, qui avait gagné l'ILSVRC en 2015 à une base de 130000 photos de lésions dermatologiques, qui a permis de reconnaître les lésions bénignes des lésions malignes avec une performance supérieure à 21 dermatologues experts...

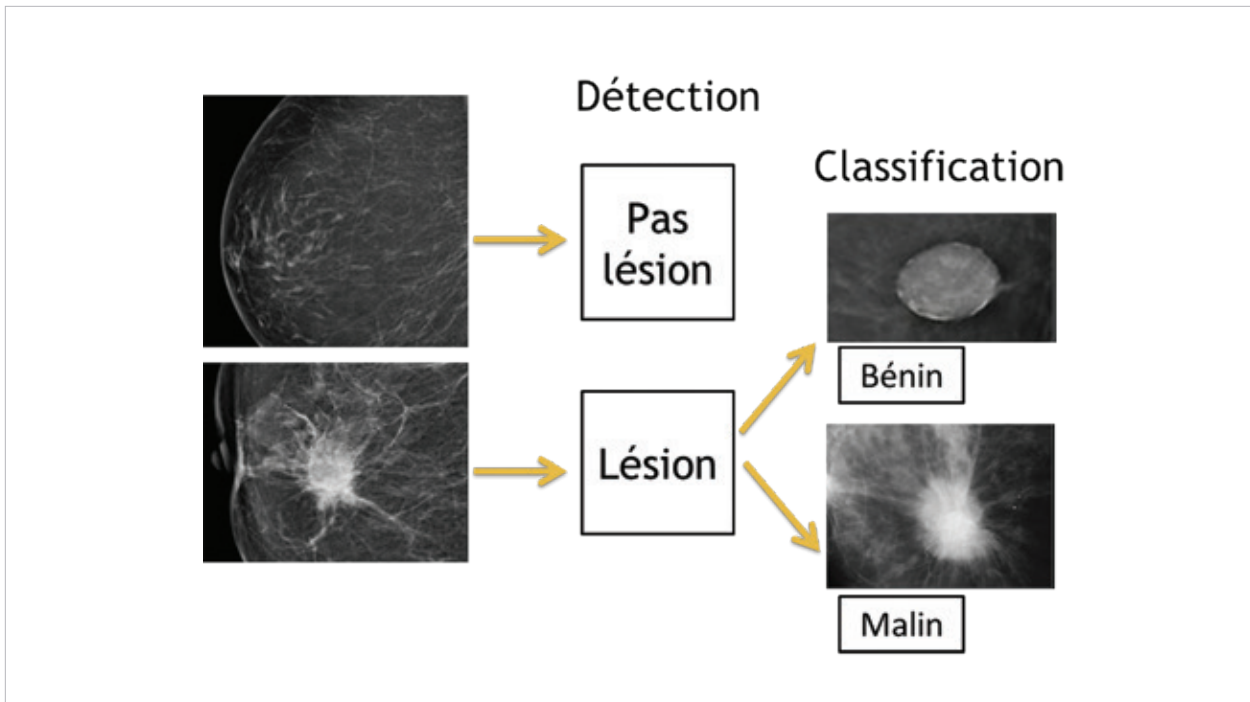


Figure 2: Principes des algorithmes de détection et classification appliqués à la mammographie. Les algorithmes de détection permettront d'identifier s'il existe une lésion ou non. Les algorithmes de classification permettront d'estimer le risque qu'il s'agisse d'une lésion bénigne ou maligne.

Les applications

De multiples applications de l'intelligence artificielle sont attendues en imagerie, impactant la performance diagnostique des images, mais aussi la manière dont elles sont acquises, le flux de patients et le flux de lecture des examens. (Figure 1) D'autres développements pourront s'appliquer à la radiologie interventionnelle.

La vision assistée par ordinateur (Computer vision) et l'analyse d'images

La vision assistée par ordinateur et l'analyse d'images constituent l'application la plus souvent concernée par les logiciels d'IA en imagerie. Deux types d'algorithmes peuvent être développés. (Figure 2) Un algorithme de détection répond à la question: «Y a-t-il une lésion dans

l'image?». Ce sont des algorithmes qui seront appliqués au dépistage, par exemple. Un algorithme de caractérisation répond à la question: «La lésion est-elle bénigne ou maligne?» ou «Quelle est la nature de la lésion?». Ces deux types d'algorithmes peuvent être associés dans le même logiciel et des applications au dépistage de masse du cancer du sein en mammographie ou au dépistage du cancer du poumon en scanner sont déjà en cours de développement. Le radiologue soumettrait l'examen au logiciel qui pointerait sur l'image les lésions et leur pourcentage de risque d'être un cancer.

L'acquisition d'images

Des algorithmes de débruitage des images sont déjà développés et implémentés sur des scanners récents. Le principe est d'«apprendre» à l'algorithme à

reconstituer une image nette à partir d'une image très bruitée. Ainsi, des images de tomodensitométrie acquises à très basses doses d'irradiation peuvent être reconstruites pour donner des images de qualité diagnostique. Il est également possible de reconstruire des images post-injection de haute qualité à partir de scanners ou d'IRM réalisés avec des injections de très basses doses d'agent de contraste (10% de la dose habituelle par exemple). Enfin, il est possible de raccourcir la durée d'un examen IRM en acquérant des images de basse résolution spatiale ou en contraste, et ensuite reconstruire des images quasi identiques à celles d'acquisitions de haute résolution. Ainsi, les patients pourront avoir des examens plus confortables, moins irradiants et avec des doses d'agent de contraste réduites diminuant les effets secondaires éventuels.

Les métiers de l'imagerie médicale, manipulateurs comme radiologues, devront s'adapter à ces nouvelles techniques, tout en gardant à l'esprit qu'ils ne restent que des outils et ne changent pas le rôle fondamental que nous avons dans la prise en charge des patients.

La segmentation d'images

Un domaine dans lequel les réseaux de neurones ont démontré leur supériorité est la segmentation automatique d'images. Par exemple, les cavités cardiaques et le myocarde du ventricule gauche peuvent être segmentés automatiquement par des logiciels à partir d'une IRM cardiaque dynamique aux phases systolique et diastolique afin de calculer la fraction d'éjection ou l'épaisseur du myocarde. Les vertèbres rachidiennes peuvent être automatiquement identifiées et numérotées, et la perte de la hauteur d'une ou de plusieurs vertèbres par fracture-tassement peut être détectée. La quantité de l'emphysème pulmonaire, le volume du parenchyme rénal, la perte de masse musculaire (sarcopénie), les calcifications coronariennes peuvent également être fournis automatiquement au radiologue au début d'un examen afin de l'aider à faire un bilan exhaustif et systématique de l'état de santé du patient.

L'amélioration du flux de travail

Au-delà de logiciels « intelligents » de gestion des rendez-vous en imagerie, plusieurs aspects du flux de travail des médecins nucléaires et radiologues font l'objet de développements grâce aux algorithmes d'intelligence artificielle. La présentation de l'examen que le médecin doit interpréter peut être améliorée par des algorithmes en affichant les séries les plus appropriées en fonction de l'indication de l'examen. Des logiciels d'analyse du langage naturel pourraient aller chercher l'information pertinente dans le dossier médical du patient pendant la lecture de l'examen, pour noter par exemple un antécédent chirurgical. Enfin, dans le cadre des urgences, des logiciels

d'analyse d'images sont capables de détecter les pathologies les plus urgentes (saignement intracérébral, pneumopéritoine, fracture, embolie pulmonaire...). Ils signalent les examens anormaux afin que le radiologue puisse les interpréter en priorité. Ceci permettra de ne pas entraîner de retard diagnostique pour les patients ayant des pathologies urgentes.

La radiologie interventionnelle

En radiologie interventionnelle, les outils d'IA permettront de mieux planifier la procédure, en particulier en guidant le choix du matériel, mais aussi en sélectionnant les patients qui auront le plus de chance de profiter de la procédure.

Les méthodes de segmentation d'images et de recalage entre deux modalités auront pour conséquence de permettre en temps réel un repérage précis de l'organe et de la lésion à traiter. En effet, des images haute résolution ou permettant de visualiser la lésion telle que l'IRM ou la TEP pourront être fusionnées avec les images des capteurs plans ou de radiologie conventionnelle, pour guider le radiologue au cours de la procédure. La préparation de la procédure, le meilleur guidage jusqu'à la cible et le suivi en temps réel auront pour conséquence de réduire la dose de rayons X et d'agent de contraste injecté, au-delà des mêmes progrès en termes d'acquisition d'images qui sont attendus en radiologie diagnostique.

Enfin, des développements dans le domaine de la robotique sont attendus avec, d'ores et déjà, des prototypes de capteurs ultrasensibles et miniaturisés ou de microrobots intravasculaires permettant des procédures similaires à la chirurgie robotique, devenues possibles grâce, d'une part, aux techniques de vision assistée par

l'ordinateur et, d'autre part, aux progrès technologiques des réseaux de communication très fiables et sans latence pour produire un signal, permettant une expérience immersive visuelle et de toucher complète.

Conclusion

Les nouveaux développements en intelligence artificielle vont impacter l'imagerie médicale à tous les niveaux, en améliorant la qualité des images, en accélérant les acquisitions, en réduisant les doses de rayons X et d'agent de contraste, en facilitant l'organisation et les flux, et en fournissant des outils de diagnostic et de suivi de procédure interventionnelle. Les métiers de l'imagerie médicale, manipulateurs comme radiologues, devront s'adapter à ces nouvelles techniques, tout en gardant à l'esprit qu'ils ne restent que des outils et ne changent pas le rôle fondamental que nous avons dans la prise en charge des patients.



NOTES

[1] – ILSVRC: ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge

RÉFÉRENCES

Articles techniques: pour aller plus loin...

Higaki T, Nakamura Y, Tatsugami F, Nakaura T, Awai K. Improvement of image quality at CT and MRI using deep learning. *Jpn J Radiol.* 2019 Jan ; 37(1) :73-80. <https://doi.org/10.1007/s11604-018-0796-2>

Saba L, Biswas M, Kuppili V, Cuadrado Godia E, Suri HS, Edla DR, Omerzu T, Laird JR, Khanna NN, Mavrogeni S, Protogerou A, Sfikakis PP, Viswanathan V, Kitas GD, Nicolaidis A, Gupta A, Suri JS. The present and future of deep learning in radiology. *Eur J Radiol.* 2019 May ; 114 :14-24. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2019.02.038>

Letzen B, Wang CJ, Chapiro J. The Role of Artificial Intelligence in Interventional Oncology: A Primer. *J Vasc Interv Radiol.* 2019 Jan ; 30(1):38-41.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2018.08.032>

Choy G, Khalilzadeh O, Michalski M, Do S, Samir AE, Pinykh OS, Geis JR, Pandharipande PV, Brink JA, Dreyer KJ. Current Applications and Future Impact of Machine Learning in Radiology. *Radiology.* 2018 Aug ; 288(2):318-328. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018171820>

Articles de position: pour comprendre les enjeux...

SFR-IA Group; CERF; French Radiology Community. Artificial intelligence and medical imaging 2018: French Radiology Community white paper. *Diagn Interv Imaging.* 2018 Nov ; 99(11) :727-742. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2018.10.003>

European Society of Radiology (ESR). What the radiologist should know about artificial intelligence - an ESR white paper. *Insights Imaging.* 2019 Apr 4 ; 10(1) :44. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0738-2>

Tang A, Tam R, Cadrin-Chênevert A, Guest W, Chong J, Barfett J, Chepelev L, Cairns R, Mitchell JR, Cicero MD, Poudrette MG, Jaremko JL, Reinhold C, Gallix B, Gray B, Geis R; Canadian Association of Radiologists (CAR) Artificial Intelligence Working Group. Canadian Association of Radiologists White Paper on Artificial Intelligence in Radiology. *Can Assoc Radiol J.* 2018 May ; 69(2) :120-135. <https://doi.org/10.1016/j.carj.2018.02.002>

Nous aidons les fournisseurs de soins de santé à augmenter leur valeur

Fier commanditaire de l'OTIMROEPMQ



Chez Siemens Healthineers, notre objectif est d'aider les fournisseurs de soins de santé à augmenter leur valeur en les soutenant dans leurs efforts relatifs au progrès de la médecine de précision, à la transformation de la prestation des soins et à l'amélioration de l'expérience du patient grâce à la numérisation des soins de santé.

[siemens-healthineers.ca](https://www.siemens-healthineers.ca)



Initiation à l'intelligence artificielle...

L'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) dans le milieu médical représente un enjeu majeur pour l'amélioration de la qualité de soins des patients.

Antonio Borrelli,
Étudiant manipulateur
en électroradiologie
médicale - 3^e année,

Institut de Formation
de Manipulateurs
d'Électroradiologie
Médicale de
l'Assistance publique -
Hôpitaux de Paris)

Manipulateur en
imagerie médicale

Hôpital Saint Antoine
à Paris

Note de la rédaction : article publié pour la première fois dans Le Manipulateur d'imagerie médicale et de radiothérapie. 2019 septembre ; 289: 17-21, et reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur et du directeur de la publication.

Introduction

Dans les années à venir, l'intelligence artificielle (IA) prendra une place importante dans le domaine de l'imagerie médicale diagnostique et interventionnelle. L'IA est présente tout autour de nous et de nombreuses applications existent déjà, notamment en radiologie. Elles sont basées sur des méthodes de *machine learning* et sont des outils d'aide pour les professionnels. Depuis 2012, une nouvelle forme de *machine learning* appelée *deep learning* offre de nouvelles perspectives prometteuses dans le domaine de la santé et plus particulièrement en imagerie.

Le contexte et les enjeux

L'IA est un outil informatique permettant de simuler l'intelligence humaine grâce à des algorithmes très complexes. Deux facteurs ont permis l'essor de l'IA : l'accélération de la puissance de calcul des ordinateurs qui s'élève à mille milliards d'opérations par seconde et l'arrivée avec le Web et les applications numériques de données de masses (*Big Data*) exploitables par l'IA.

L'Union européenne est globalement très en retard sur l'avancée de l'intelligence artificielle comparative-ment aux grandes entreprises américaines et chinoises :

L'IA est un outil informatique permettant de simuler l'intelligence humaine grâce à des algorithmes très complexes.

Des algorithmes intelligents sont désormais parfaitement capables d'analyser des images radiologiques.

Google, Facebook, Apple, Amazon, Microsoft, IBM, BATX. Le gouvernement français souhaite, par conséquent, faire du développement de l'IA une priorité. Le président de la République, Emmanuel Macron, a dévoilé un plan d'investissement de 1,5 milliard d'euros pour soutenir ce projet, et la mission a été confiée à Cédric Villani (mathématicien et député de l'Essonne) de débattre sur l'IA.

Dans son rapport de mars 2018, « Donner un sens à l'intelligence artificielle », Cédric Villani propose « de renforcer l'écosystème européen de la donnée » et de « concentrer l'effort sur quatre secteurs prioritaires : santé, environnement, transports-mobilités et défense-sécurité »^[1].

L'IA soulève de nombreuses questions, notamment sur l'avenir de certains métiers (p. ex. comptable, caissier, employé de banque et d'assurance, secrétaire, ouvrière de la manutention, chauffeur). La profession de radiologue est également concernée. Des algorithmes intelligents sont désormais parfaitement capables d'analyser des images radiologiques. Pour la première fois, une équipe de chercheurs de Google AI, division de recherche de Google, a mis au point une intelligence artificielle capable de réaliser toutes les étapes de dépistage du cancer du poumon de manière totalement autonome aussi bien, voire mieux, que des radiologues.

Leur travail a été publié en mai dans la revue *Nature Medicine*^[2]. En effet il reste encore des progrès à réaliser. Lorsqu'il a fallu se prononcer sur des cas plus complexes, la machine – comme les spécialistes – a eu davantage de difficultés. Donc, même si ce type de programmes pourra aider les médecins

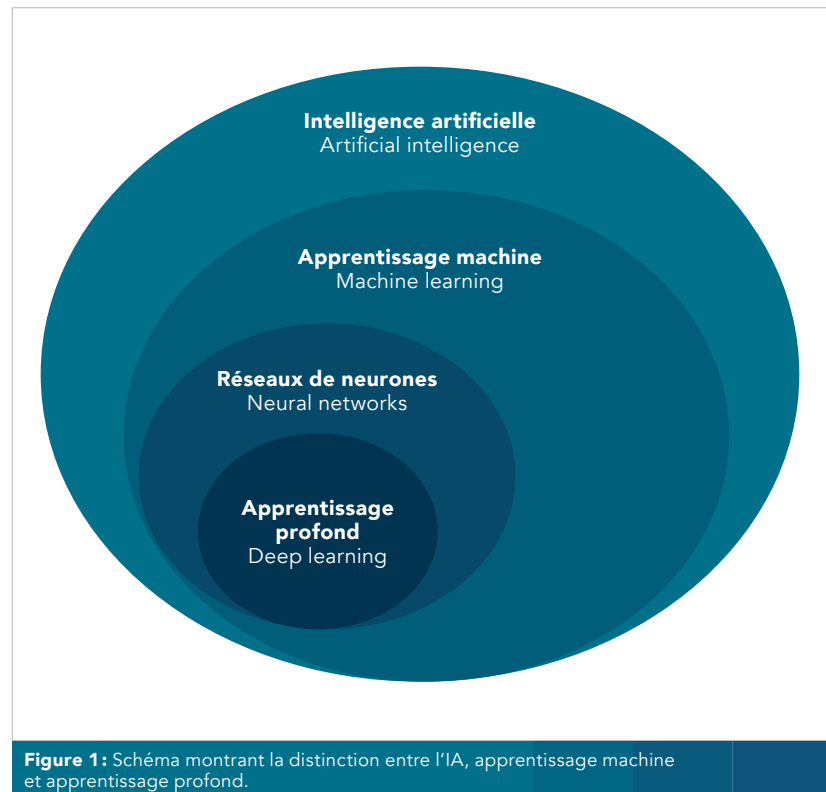


Figure 1 : Schéma montrant la distinction entre l'IA, apprentissage machine et apprentissage profond.

à poser un diagnostic, il est certain qu'ils ne les remplaceront pas : ces derniers auront toujours la charge de la décision^[3].

Fonctionnement de l'intelligence artificielle

L'IA est représentée sous différentes formes (**Figure 1**) :

- l'apprentissage machine (*machine learning*) est une branche de l'IA. Celle-ci a la capacité d'apprendre à partir de nombreuses données (*Big Data*), grâce à un algorithme d'apprentissage dont l'objectif est de réaliser des analyses explicatives, prédictives ou préventives.

- l'apprentissage profond (*deep learning*) est une discipline de l'apprentissage machine qui regroupe des méthodes d'apprentissage automatique basées sur des réseaux de neurones.

L'apprentissage machine (*machine learning*) est basé dans de nombreux cas sur des réseaux de neurones artificiels. Des chercheurs ont eu l'idée d'inculquer aux machines le même procédé que le fonctionnement du cerveau humain pour « apprendre », c'est-à-dire grâce à des réseaux de neurones. Ainsi, des termes sont empruntés à la biologie du cerveau, tels que neurone, activation et connexion, et désignent des opérations mathématiques.

L'analogie entre un neurone biologique (**Figure 2**) et un réseau de neurones artificiels est essentiellement visuelle, dans la mesure où il y a un flux d'informations de l'entrée à la sortie du réseau. En outre, les réseaux neuronaux artificiels ressemblent surtout à une fonction mathématique à plusieurs variables.

L'architecture d'un réseau de neurones artificiels (Figure 3) est constituée de différentes couches (*layer*) reliées entre elles par des connexions appelées poids. La première couche de neurones interprète les données d'entrée, que l'IA comprend sous forme de chiffres (pour l'interprétation d'image, ce sont les différentes valeurs des pixels que constitue l'image). Chacun des poids est une valeur qui sert à propager

l'information de neurone en neurone, de la première couche (*input layer*) à la dernière (*output layer*). Ils sont à la base du fonctionnement du réseau d'où se fait tout l'apprentissage. Un réseau de neurones possède deux phases d'apprentissage :

- l'étape éducative : les réseaux de neurones apprennent par un processus de rétro propagation, calculs avancés qui nécessitent la maîtrise de notions mathématiques telles que les dérivées. Pour apprendre, l'IA compare ce qu'il y a à la sortie du réseau de neurones avec le résultat pour lequel elle a été conçue. Cette comparaison sert à modifier les poids des

connexions entre les neurones du réseau afin de le rendre plus précis. Par exemple, pour l'interprétation d'images, nous souhaitons que l'algorithme sache faire la différence entre un chat et un chien.

Pour cela, nous lui montrons de multiples images de ces animaux. À cette étape, il y a généralement une intervention humaine pour guider l'IA : les mauvais résultats sont reportés afin d'améliorer le modèle mathématique et ainsi faire varier les poids en « tâtonnant », en procédant par itérations (rétro propagation) jusqu'à obtenir le bon résultat. (**Figure 4**)

- l'étape où l'algorithme fonctionne seul : à mesure que l'IA apprend des données et de ses erreurs corrigées, elle acquiert une expérience. Par conséquent, lorsque le réseau de neurones est suffisamment calibré, il atteint un niveau où il n'est plus nécessaire de le superviser. Il est alors en mesure de reconnaître n'importe quelle image de chien ou de chat.

Toutefois il est à noter plusieurs inconvénients à cet apprentissage :

- le nombre important de données pour aboutir à un algorithme performant,
- la durée importante d'entraînement d'un algorithme ainsi que la puissance de calcul nécessaire,
- le manque de sens logique de la machine. L'IA, grâce aux données enregistrées, est en mesure de différencier un chat d'un chien. Néanmoins, différencier d'autres animaux est tâche impossible étant donné le manque d'informations. Pour cette raison, l'IA est spécialisée dans des domaines très particuliers.

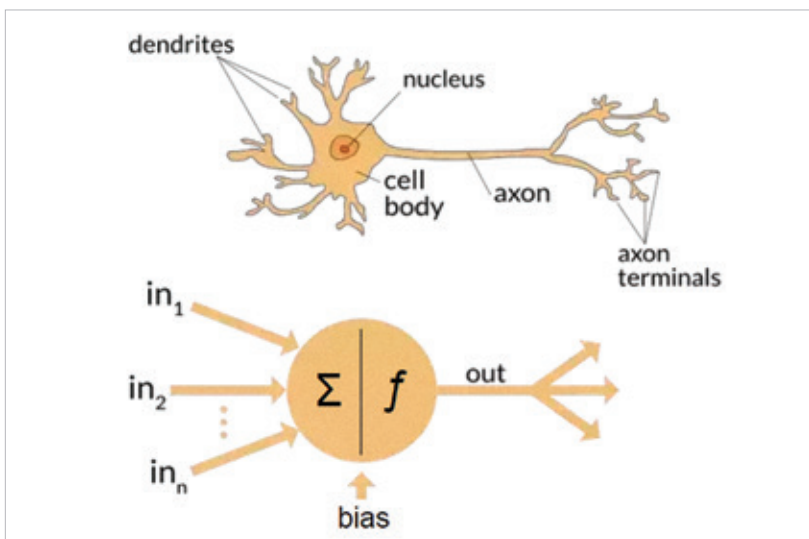


Figure 2 : Schéma d'un neurone biologique et artificiel.

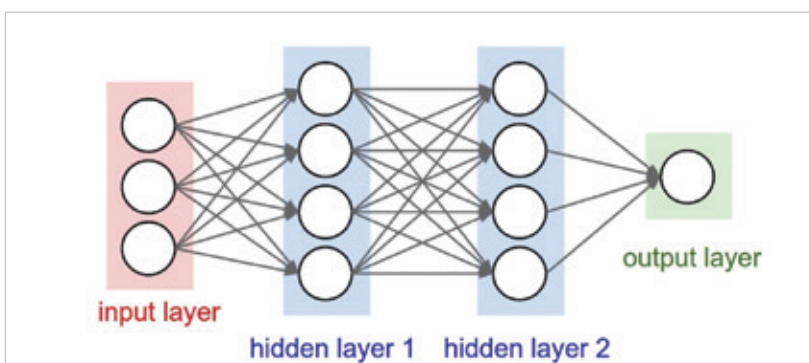


Figure 3 : Schéma d'une architecture de réseau de neurones, de l'entrée à la sortie.

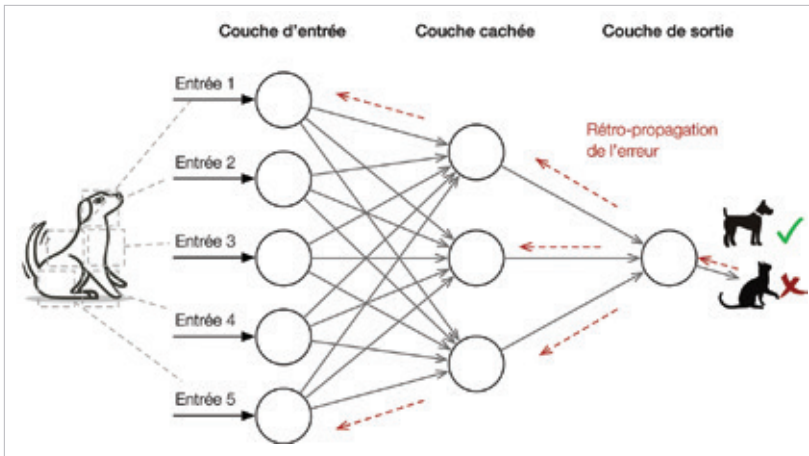


Figure 4 : Schéma de la rétro propagation

Exemple d'application: la réduction des doses au scanner

La société Canon Medical Systems présente un nouvel appareil, Aquilion ONE Genesis®, dans lequel un module d'IA est ajouté. Ce scanner intègre un outil AiCE (Advanced

intelligent Clear-IQ Engine) qui permet le traitement du bruit de l'image grâce à l'apprentissage profond (*deep learning*), l'objectif étant de réduire significativement la dose de rayons X délivrée, notamment pour les coroscanners. Le module AiCE permet d'éliminer le bruit de l'image lors de la

reconstruction, apprentissage acquis à partir de grandes quantités d'images (100000). Deux scanners ont été effectués sur les mêmes patients. Le premier en *ultra low dose*, le deuxième en dose normale avec une reconstruction itérative MBIR (*Model-Based Iterative Reconstruction*) très avancée qui permet de ne pas changer la texture de l'image, celle-ci ayant pour défaut son temps de reconstruction de 12 heures pour chaque scanner. Une comparaison est ensuite réalisée entre l'image de très haute qualité et l'image de très basse qualité. Les chercheurs ont alors appliqué un réseau neuronal, l'apprentissage profond (*deep learning*), afin de comparer la qualité d'image et essayer de trouver la formule mathématique qui permet d'obtenir l'image MBIR à partir de l'image *low dose*. Puis l'algorithme de reconstruction, appelé *deep learning reconstruction*, est testé sur de nombreux modèles. (Figure 5)

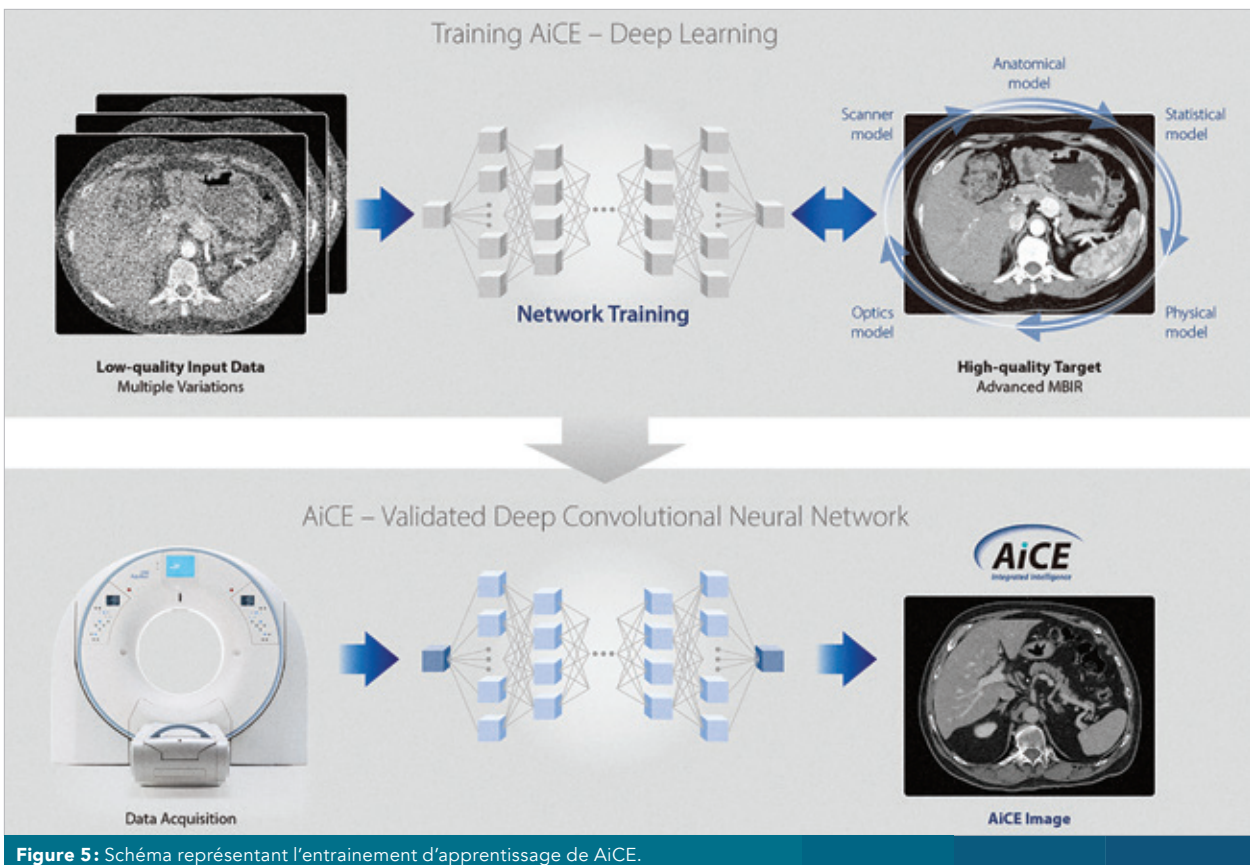


Figure 5 : Schéma représentant l'entraînement d'apprentissage de AiCE.

Les résultats sont validés par une équipe de radiologues, médecins médicaux, scientifiques de l'IA et chercheurs cliniques. L'algorithme de reconstruction obtenu est rapide, entièrement « formé » et prêt à être utilisé en clinique.

Résultats: la réduction de dose est significative (**Tableau 1**), avantage non négligeable pour l'imagerie pédiatrique et les examens pour suivi de pathologies spécifiques.

Les limites de l'IA

L'intelligence artificielle a besoin d'une grande quantité de données pour s'entraîner. Dans le domaine de la santé, les données personnelles des patients sont la « matière première », des données multiples telles que données images, mais aussi biométriques, cliniques, paracliniques, biologiques, physiopathologiques...

Ces informations sont protégées par le règlement général sur la protection des données (RGPD) du 27 avril 2016^[4]. Elles doivent être traitées selon six principes :

- licéité (consentement), loyauté, transparence ;
- limitation des finalités (déterminées, explicites et légitimes) ;
- minimisation des données (adéquates, pertinentes et limitées) ;
- exactitude ;
- limitation de la conservation ;
- intégrité et confidentialité.

Le RGPD introduit également la notion de pseudo-anonymisation afin de permettre la collecte des données de manière plus simple pour ne pas freiner la recherche. La possibilité de piratage fait craindre une faille du système pour la protection des données patient.

Enfin, une grande partie des considérations éthiques soulevées tiennent à l'opacité de ces technologies en grande partie due à la dimension des espaces dans lesquels évoluent les données. Par exemple, pour la reconnaissance d'images, un réseau profond prend en entrées des images décrites par des milliers de pixels (4 K) et « apprend » typiquement des centaines de milliers, voire des millions, de paramètres (poids du réseau), qu'il utilise ensuite pour classer les images inconnues. Il est donc presque impossible de suivre le cheminement de l'algorithme de classement, qui met en jeu ces millions de paramètres, jusqu'à sa décision finale (la certification formelle de l'apprentissage est encore aujourd'hui un objet de recherche). Dans ce contexte, être en mesure « d'ouvrir les boîtes noires » (*black box*) est un enjeu^[5].

Conclusion

L'IA est destinée à changer les métiers en lien avec la radiologie. Les radiologues sont les premiers concernés par ces changements, notamment avec l'aide à l'interprétation des images, mais aussi le manipulateur. Les algorithmes de l'IA rendent déjà possibles la détection automatique de structures

anatomiques et, par exemple, le positionnement automatique en imagerie de coupes, le recalage intelligent d'images et le reformage. De nouvelles applications sont à prévoir dans un avenir proche afin de répondre à la demande croissante d'examens d'imagerie. De ce fait, il apparaît donc important que les manipulateurs connaissent l'IA et y soient formés afin d'être capables d'en maîtriser les limites.

NOTES

[1] – Donner un sens à l'intelligence artificielle. Pour une stratégie nationale et européenne – Mission parlementaire du 8 septembre 2017 au 8 mars 2018 confiée par le Premier ministre Édouard Philippe à Cédric Villani – www.ladocumentationfrancaise.fr

[2] – Ardila D, Kiraly A, Bharadwaj S, Choi B, Reicher J, Peng L, Tse D, Etemadi M, Ye W, Corrado G, Naidich D, Shetty S. *End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography*. Nature Medicine. 2019 June; volume 25 : 954–961 – www.nature.com/naturemedicine – [https://www.nature.com/naturemedicine](https://www.nature.com/articles/s41591-019-0447-x.epdf?referrer_access_token=t8j1fAnlKH9fR6oRvUj9RgN0jAjWel9jnR3ZoTv0PPvcOnHUVJFSsgVlyXUjK6_-IWLtcJBkj0gzku-OIG1L4sNORIKO-I97HYzh4Y4IWSenwKQLO4lFCb20X8190BDAYmaYpniUrQ4gey5ZK7kpW1GaV6DQfR2dgeuEeln6KfWQlFwXmA1idtgCHRrMaGU-s3n9oMuBS4fuqwnEnta4ZYUw_M1umGEBO_OOSD23qkxa-NcE1YA5g2ol-kLaBrBp2SlKUvmPheyzNfMQQM2AbTyHfm2Jglpovl4oE3JRxx8aXgJWep0Q17d3kcRSxxo mfnFidwjNBhnYKFqm9w%3D%3D&tracking_referrer=sante.lefigaro.fr)

[3] – Google a développé une intelligence artificielle capable de détecter les cancers du poumon, par Agathe Delepaut, publié le 28/05/2019 sur <http://sante.lefigaro.fr> – <http://sante.lefigaro.fr/article/google-a-developpe-une-intelligence-artificielle-capable-de-detecter-les-cancers-du-poumon/>

[4] – Le règlement relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la directive 95/46/CE (règlement général sur la protection des données) est entré en application le 25 mai 2018. www.cnil.fr/fr/reglement-europeen-protection-donnees

[5] – Donner un sens à l'intelligence artificielle. Pour une stratégie nationale et européenne – Partie 5 : Quelle éthique de l'IA ? Ouvrir la boîte noire. Ce que l'on ne comprend pas en matière de *deep learning*. Page 141

EXAMEN	Scanner + IA CTDIV (mGy)	Scanner normal CTDIV (mGy)
Encéphale	30	65
Thorax	4,5	15
Abdomen/Pelvis	5	17

Tableau 1 : Comparatif des doses délivrées.

Sept étapes pour obtenir l'indépendance financière

Certaines personnes n'ont pas à travailler à temps plein pour assumer leurs besoins de base. Leurs actifs génèrent des revenus qui sont supérieurs à leurs dépenses. C'est ce qu'on appelle l'indépendance financière. Et cette situation, qui donne envie, n'est pas une question de salaire. Découvrez comment vous pourriez y parvenir.

1. Définir ses buts et ses objectifs

Des objectifs mesurables et réalistes vous aideront à résister à la tentation d'acheter le dernier gadget technologique ou de tomber dans le piège de la surconsommation.

2. Faire un budget

Tenir un budget à jour vous aidera à prendre conscience de vos dépenses, tout en simplifiant la gestion de votre argent. Qu'il s'agisse d'un fichier Excel ou d'un document plus complexe, compiler les entrées et les sorties d'argent dans un tableau vous évite de dépenser plus que vous ne gagnez.

3. Gérer ses dettes

Qu'il s'agisse d'un prêt étudiant, d'un solde de carte de crédit ou d'une hypothèque, il est essentiel de liquider en priorité vos dettes dont le taux d'intérêt est élevé. Bien entendu, cela peut signifier avoir à faire quelques concessions pour mettre l'argent au bon endroit.

4. Mettre de l'argent de côté

Le plus simple est d'opter pour l'épargne systématique. Par exemple, programmer un virement automatique vers un compte épargne au lendemain du dépôt de votre paie. Sans même y penser, vous amasserez au bout de quelques mois un montant à investir judicieusement.

5. Créer un fonds en cas d'urgence

Difficile de prévoir les imprévus. Mais en ayant mis de côté un montant dans un fonds d'urgence, vous éviterez de vous endetter à nouveau. Votre fonds d'urgence devrait correspondre à trois mois de salaire normal. Avec un budget, vous pourrez amasser plus facilement le montant nécessaire.

6. Suivre son plan

L'indépendance financière n'est pas un rêve. C'est un objectif réalisable qui demande beaucoup de détermination, de rigueur et de discipline. Après avoir couché sur papier des objectifs et établi des buts à atteindre, élaborez un plan par étapes pour y arriver.

7. Réévaluer ses besoins

Réévaluez votre budget, vos dépenses fixes (loyer ou hypothèque, assurances, chauffage) et vos dépenses variables (restaurants, sorties au cinéma, vêtements) sur une base régulière. L'exercice vous permettra peut-être d'économiser davantage pour ensuite passer en mode investissement et vous rapprocher de votre objectif d'indépendance financière.

Entre retraite et indépendance financière

Qu'est-ce qui définit une retraite réussie et agréable? Si jadis on économisait pour la retraite, aujourd'hui, on économise pour acquérir l'indépendance financière. De toute façon, la retraite projetée par les baby-boomers est bien différente de celle envisagée par les générations X et Y. L'objectif n'est plus d'arrêter de travailler, mais plutôt de faire ce que l'on aime.

Avec une bonne planification, vous pourrez compter sur des revenus passifs pour assumer les dépenses courantes et maintenir votre indépendance financière après 65 ans. Il peut s'agir de placements plus ou moins risqués ou encore d'investissements immobiliers qui rapportent des revenus récurrents.

Selon votre profil, un conseiller financier peut vous aider à prendre en main vos finances et à établir un scénario qui tracera la voie vers votre indépendance financière et vers... la liberté!

Banque Nationale propose une offre exclusive pour les technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale.

Pour connaître les avantages reliés à cette offre spécialement adaptée, visitez le bnc.ca/sante.

Fière partenaire de

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



L'utilisation de l'IRM seule en planification des traitements de radiothérapie de la prostate

Sommes-nous prêts ?

Présentation d'un projet de recherche sur l'utilisation exclusive des images d'IRM comme images de planification.



Maryse Bélanger, t.r.o.

Coordonnatrice - secteur dosimétrie
CISSS de Chaudière-Appalaches, Hôtel-Dieu de Lévis



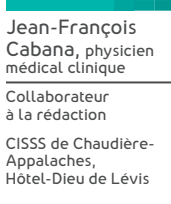
Marie-Pier Lagacé, t.r.o.

Coordonnatrice - secteur traitement et curiethérapie
CISSS de Chaudière-Appalaches, Hôtel-Dieu de Lévis



Marie-Pier Cloutier, t.r.o.

Coordonnatrice - secteur planification
CISSS de Chaudière-Appalaches, Hôtel-Dieu de Lévis



Jean-François Cabana, physicien médical clinique

Collaborateur à la rédaction
CISSS de Chaudière-Appalaches, Hôtel-Dieu de Lévis

L'ouverture du service de radio-oncologie du Centre régional intégré de cancérologie (CRIC) de Chaudière-Appalaches en avril 2019 a été tout un défi pour son équipe multidisciplinaire. Les projets se sont bousculés les uns après les autres. Un de ceux-ci fut l'implantation de la résonance magnétique de planification. Le service a également fait l'acquisition d'un logiciel transformant les images de résonance magnétique en images de CT Synthétique. Notre collègue Jean-François Cabana, physicien médical clinique, a identifié, dans le cadre de son projet de résidence, l'ensemble des étapes et enjeux cliniques que nécessite la mise sur pied d'un traitement de radiothérapie avec utilisation de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) seule comme images de planification. Le projet a demandé la contribution de l'ensemble de l'équipe, soit les technologues de tous les secteurs, les radio-oncologues et les physiciens médicaux. Veuillez noter que le contenu de cet article provient entièrement du projet de Jean-François Cabana. C'est avec

plaisir et fierté que nous vous présentons un résumé de l'étude réalisée par notre collègue.

Les buts de l'étude

- Évaluer la faisabilité de n'utiliser que l'IRM en planification d'une prostate et des vésicules séminales.
- Identifier les manques à gagner et répondre aux interrogations à chacune des étapes du processus de la mise en traitement avant d'amorcer la transition.

Il est donc primordial d'avoir un programme d'assurance qualité permettant de contrôler la qualité des images.



Figure 1 : Comparaison entre image CT et image IRM.

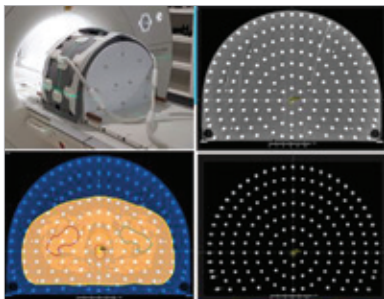


Figure 2 : Fantôme de distorsion spatiale ayant servi à l'étude.



Figure 3 : Images du CT Synthétique.

Les avantages d'utiliser l'IRM de planification seule

Voici les avantages d'utiliser l'IRM de planification seule versus l'utilisation en combinaison avec un CT de planification en prostate. **(Figure 1)**

1. Besoin d'un seul examen de planification :
 - diminution du temps pour le patient;
 - diminution du temps d'effectif pour la planification des traitements.
2. Diminution des risques d'erreurs :
 - imprécisions de recalage entre le CT de planification et l'IRM de planification;
 - imprécisions du repositionnement du patient entre l'examen CT et l'examen IRM;
 - différence entre la dimension des organes à risque (vessie et/ou rectum de taille différente) due au facteur temps entre les 2 examens.
3. Aucune radiation nécessaire à la planification.

La préparation au projet

Tout d'abord, il faut savoir qu'un des désavantages de l'IRM est le phénomène de distorsion spatiale causé par le champ magnétique. Cette distorsion peut provoquer des déformations aux volumes cibles et/ou des organes à risque (OAR). Il est donc primordial d'avoir un programme d'assurance qualité permettant de contrôler la qualité des images. Sans entrer dans les détails, Jean-François Cabana a créé un fantôme **(Figure 2)** permettant de vérifier la distorsion présente à l'intérieur d'un FOV (Field of view) de 50 cm sur les images acquises. Selon les premières observations, les différences sont acceptables pour la planification des traitements, soit moins de 2 mm sur l'ensemble des volumes cibles et des organes à risque (OAR).

Étant donné que l'image CT est nécessaire au calcul de dose dans les logiciels de planification (p. ex., Pinnacle, Eclipse, RayStation), il va de soi que nous devions la remplacer par autre chose: le CT Synthétique. Le CT Synthétique est une image de basse résolution. Il a une apparence très *vintage* et s'expose en 5 tons de gris. **(Figure 3)** Il est acquis par une séquence avec un large champ de vue (FOV) en pondération T1 : *Large FOV 3D T1 VIBE Dixon*. Les quatre images de contrastes différentes tirées de cette acquisition sont exportées vers le logiciel Syngo.Via. Une segmentation des tissus mous est effectuée, puis un atlas de reconstruction des os du bassin est appliqué sur les images de résonance magnétique et pour les transformer en CT Synthétique. **(Figure 4)**

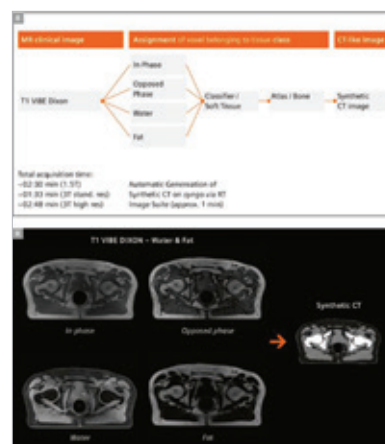


Figure 4 : Transformation de l'image IRM du bassin en CT Synthétique.

La planification

Au CRIC, tous les patients atteints d'un cancer de la prostate avec prostate en place ont une IRM de planification prévue à leur plan de soins. Si les patients n'ont pas de contre-indications à l'IRM, une première séquence est effectuée : la T2 SPACE 3D haute résolution. Cette séquence offre un bon contraste des tissus mous facilitant les contours des volumes cibles et des organes à risque. Si le patient accepte et tolère bien l'examen, nous procédons à l'acquisition de la séquence du CT Synthétique. Les 12 premiers patients ayant répondu à ces critères ont été sélectionnés pour l'étude.

L'IRM de planification est équipée d'une table et d'accessoires de positionnement certifiés IRM compatible identiques à ceux utilisés lors des traitements de radiothérapie. Des lasers de positionnement externes à l'appareil sont installés dans le but de faciliter le positionnement du patient à l'isocentre de départ tout comme lors de la délivrance du traitement de radiothérapie externe. Des arceaux sont disponibles et nécessaires afin de soutenir les antennes. Leurs buts : éviter que les antennes déforment le contour externe du patient dans le contexte où l'imagerie primaire de planification des traitements de radiothérapie externe serait la résonance magnétique. (Figure 5)

Les patients sont installés pieds premiers en position de traitement. L'examen d'IRM étant fait avant le CT de planification, des points de repère sur le patient et des valeurs de référence sont notés afin de reproduire le même positionnement lors du CT de planification. Les valeurs de référence finale et les points de tatouage seront faits au CT.

Pour ce qui est du contour des volumes cibles, l'étude semble démontrer un volume global plus petit de la prostate et des vésicules séminales.

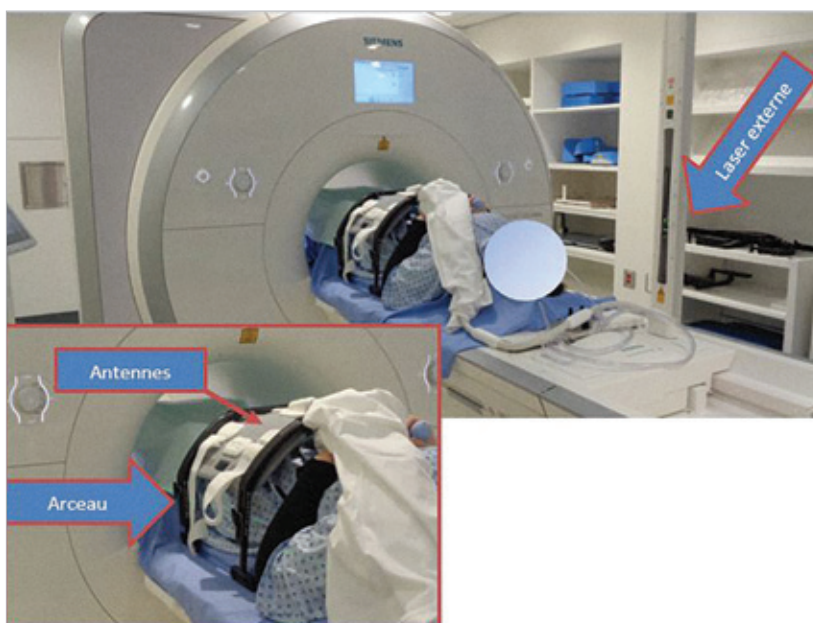


Figure 5 : Installation d'une salle d'IRM.

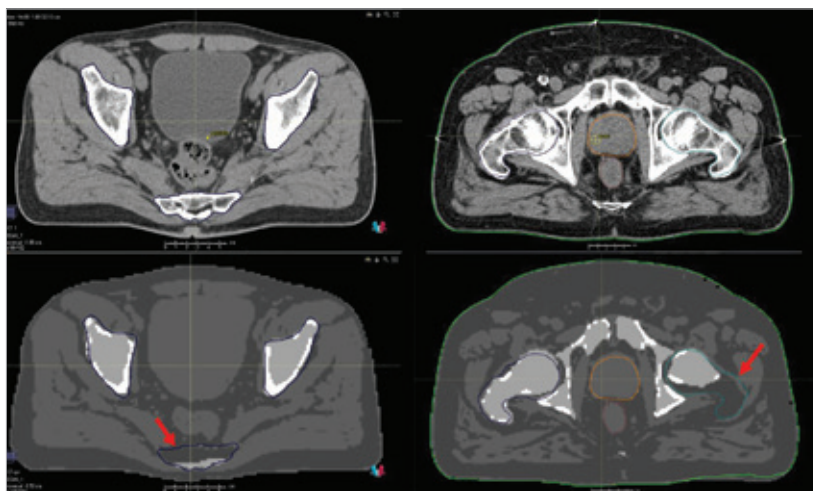


Figure 6a : Problématique de reconstruction de l'atlas.

Les contours et les fusions

Dans le flux de travail clinique, les technologues de planification effectuent le recalage de l'image de tomodensitométrie de planification (imagerie primaire) avec les séquences d'IRM (imagerie secondaire). La fusion se fait selon les étapes suivantes :

1. Fusion rigide sur les os.
2. Recalage de la prostate et des vésicules séminales.
3. Validation de l'interface rectoprostatique en postérieur.
4. Priorisation du volume de la prostate.

Les technologues de planification effectuent les contours des organes à risque (OAR) sur le CT de planification : cavité intestinale, os du bassin, fémurs, organes génitaux, queue de cheval. Difficilement visible, le bulbe pénien est souvent fait avec l'image T2 de la résonance magnétique. Le radio-oncologue valide ensuite les contours et les fusions, et il effectue les contours des volumes cibles (prostate, vésicules séminales) et des organes à risque

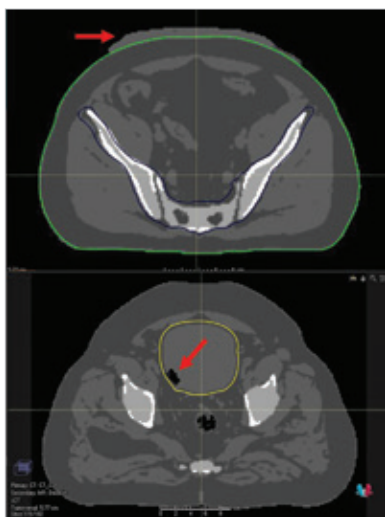


Figure 6b : Erreur de reconstruction :
1. artefact de mouvement ;
2. air dans la vessie.

(OAR) restants (vessie et rectum). L'IRM est encore une fois utilisée comme référence pour faciliter les contours.

Dans le contexte de l'étude, les mêmes tâches ont été effectuées par les 2 équipes. Le médecin devait travailler avec la séquence T2 et les technologues avec l'ensemble des séquences d'IRM ainsi que le CT Synthétique. Les OAR étaient, dans l'ensemble, faciles à dessiner. La reconstruction osseuse du CT Synthétique facilitait le travail des algorithmes d'auto-délimitation des contours des structures osseuses dans le logiciel de planification. Par conséquent, les technologues avaient moins de corrections manuelles à faire aux structures osseuses. Cependant, la reconstruction via l'atlas des os ne donnait pas toujours un résultat optimal. (**Figure 6 a**) Il manquait parfois une portion du sacrum ou des têtes fémorales. D'autres erreurs de reconstruction ont été notées, telles que de l'air dans la vessie et des différences sur le contour externe dû à des artefacts de mouvement. (**Figure 6 b**) Quant aux contours des tissus mous, aucune problématique n'a été signalée. Concernant la queue de cheval, étant donné la perte de définition du CT Synthétique, elle était difficile à distinguer. Pour ce qui est du contour des volumes cibles, l'étude

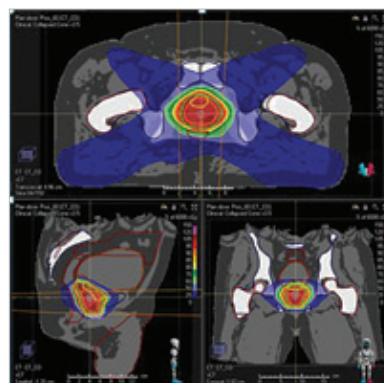


Figure 7 : Distribution de dose sur le CT Synthétique.

semble démontrer un volume global plus petit de la prostate et des vésicules séminales. L'IRM apporte une définition des tissus mous plus intéressante, plus précise que le CT (meilleure visibilité de la base, l'apex et la paroi antérieure de la prostate) d'où la différence entre les volumes dessinés sur IRM et CT.

La dosimétrie

Pour l'étude, 5 plans dosimétriques ont été effectués sur le CT-Synthétique. Les technologues devaient produire un plan de traitement (sans nécessairement finaliser les fins détails d'une planification optimale) et identifier les failles ou tout autre élément du processus ayant besoin d'amélioration. L'observation la plus importante était que les technologues en dosimétrie n'avaient pas l'impression de faire un plan de traitement réel (dû à l'aspect artificiel de l'image). Par conséquent, il était légitime de craindre une moins bonne optimisation du plan de traitement. Pour ce qui est de la validation du calcul de la dose, les plans déjà délivrés cliniquement ont été recalculés sur le CT-Synthétique. Un ensemble d'indices dosimétriques ont été évalués sur le CTV, le PTV, le rectum, la vessie et les têtes fémorales. La courbe de calibration HU du CT de planification a dû être corrigée afin d'obtenir un calcul dosimétrique optimal. Les accessoires et la table ont été exclus du calcul en raison de l'incapacité de visualiser ces accessoires sur l'image IRM. Au final, les différences de dose calculées sur le CT Synthétique et sur le CT de planification étaient négligeables. (**Figure 7**)

Le traitement

Actuellement, pour les traitements de prostate seule, un CBCT est acquis quotidiennement en utilisant comme image de référence le CT de planification. Les technologues

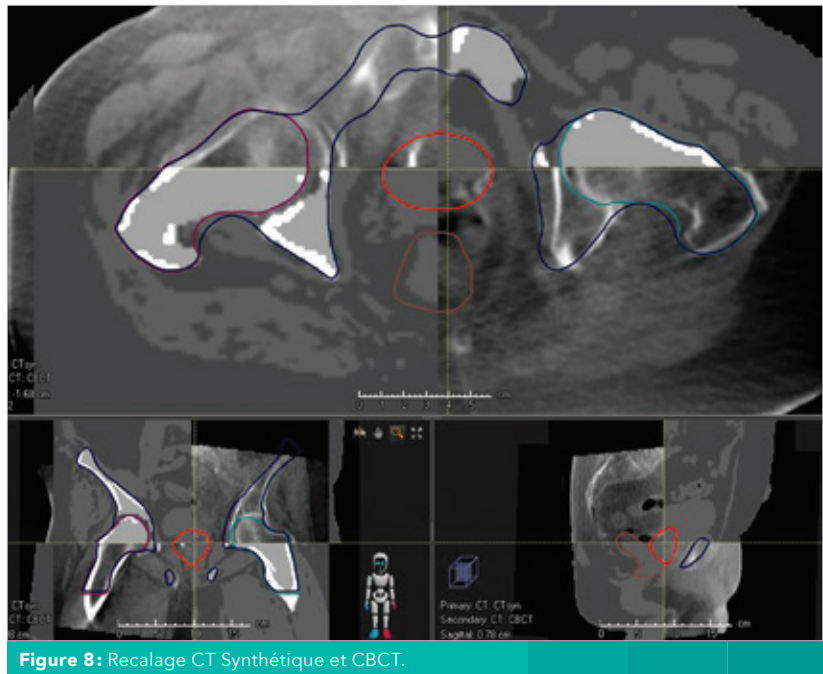
font le recalage via la station XVI en utilisant les critères listés ci-dessous.

1. Faire le recalage automatique en match osseux.
2. Regard sur le recalage osseux (symphyse, sacrum, petit bassin) afin de valider le positionnement.
3. Regard sur conformité de la vessie et du rectum.
4. Match automatique avec le CTV :
 - a. Priorisation de l'interface rectoprostatique en postérieur.
 - b. CTV pile avec l'interface rectoprostatique (en antérieur il y a une bande de tissu adipeux qui n'est pas incluse dans le CTV et qu'il est impossible d'identifier sur le CT et le CBCT, mais qui est bien visible à l'IRM).
5. Regard sur le premier centimètre des vésicules séminales.

Pour des raisons de logistique, il a été impossible de valider le recalage via la station XVI (logiciel de recalage prétraitement de la compagnie Elekta). Puisque nous ne voulions pas valider le processus en mode clinique, l'exercice a plutôt été effectué dans le logiciel de planification dosimétrique RayStation par cinq technologues différents, chacun pour cinq examens de patients. Chaque technologue devait faire un recalage entre :

1. CT synthétique et CT de planification ;
2. CBCT et CT de planification ;
3. CBCT et CT Synthétique.

Le recalage du CT Synthétique et du CT de planification était utilisé comme référence. Le but derrière cet exercice était de quantifier l'écart systématique et la variabilité des recalages entre technologues selon le type d'examen utilisé pour le recalage. Les technologues rapportent qu'ils devaient utiliser davantage les contours des organes à risque (OAR) et des volumes cibles pour le recalage étant donné la perte



En moyenne, nous avons pu constater qu'il n'y avait pas de différence significative de variabilité entre les résultats des technologues pour le recalage du CBCT sur le CT Synthétique ou le CT de planification.

MATCH CBCT – ÉCART-TYPE MOYEN INTER-UTILISATEURS			
	RL [cm]	IS [cm]	PA [cm]
CBCT > sCT	0,096	0,200	0,170
CBCT > sim-CT	0,069	0,175	0,127
Différence	0,027	0,026	0,043
p-value	0,079	0,498	0,195

DIFFÉRENCE MATCH IMPLICITE > RÉFÉRENCE			
	RL [cm]	IS [cm]	PA [cm]
Moyenne	0,042	-0,147	-0,021
p-value	0,079	0,022	0,635

Tableau 1 : Résultats des différences de recalage.

SECTEURS	ÉLÉMENTS À SOLUTIONNER
Consultation	<ol style="list-style-type: none"> Établir des critères d'acceptabilité pré planification: <ul style="list-style-type: none"> Éliminer les patients dont le diamètre abdominal est plus grand que 50 cm (FOV maximum 50 cm à l'IRM)
Assurance qualité	<ol style="list-style-type: none"> Mise sur pied d'un programme d'assurance qualité quotidien/mensuel. Voir à l'amélioration des séquences afin d'augmenter la précision de certains contours des organes à risque (OAR) et des volumes cibles.
Général	<ol style="list-style-type: none"> Faire un échantillonnage sur un plus grand nombre de patients. Tester la procédure avec un plus grand nombre de technologues. Prévoir une formation pour tous les membres de l'équipe afin de se familiariser avec le visuel du CT Synthétique.
Planification	<ol style="list-style-type: none"> Faire l'essai de marqueurs IRM compatibles. Valider l'impact d'acquisition des images IRM en position tête-pied inversée sur le reste de la mise en traitement (les patients reçoivent actuellement leur traitement tête-pied standard). Établir un processus de validation des images post acquisition avec des critères d'admissibilité à l'IRM seule. Au besoin, aiguiller vers un flux de travail CT et IRM.
Contours et fusions	<ol style="list-style-type: none"> Établir des critères de contours propres au CT Synthétique, incluant un nouvel atlas de contour des organes à risque (OAR) pour prostate.
Dosimétrie	<ol style="list-style-type: none"> Établir une façon d'inclure les accessoires et la table dans le calcul dosimétrique. Définir une courbe HU propre au CT Synthétique. S'assurer d'effectuer les bonnes corrections sur les CT Synthétiques suite aux erreurs de reconstruction.
Traitement	<ol style="list-style-type: none"> Tester le recalage directement dans la station XVI.

Tableau 2: Prochaines étapes avant l'implantation clinique de la planification sur IRM seule.

d'information sur le CT Synthétique (plus basse résolution et seulement cinq tons de gris). (**Figure 8**)

En moyenne, nous avons pu constater qu'il n'y avait pas de différence significative de variabilité entre les résultats des technologues pour le recalage du CBCT sur le CT Synthétique ou le CT de planification. Toutefois, on pouvait remarquer une différence dans la direction longitudinale de -0,15 cm en moyenne entre le recalage sur le CT Synthétique et sur celui de planification. (**Tableau 1**) En observant les résultats préliminaires, il ne semblerait pas avoir de différence majeure entre les deux recalages. Toutefois, des tests sur un échantillon de données plus grand seront nécessaires.

Les défis à venir

Les prochaines étapes à réaliser avant l'implantation clinique de la planification sur IRM seule des

traitements de prostate sont résumées dans le **Tableau 2**.

En conclusion, une planification en utilisant de façon exclusive l'imagerie de résonance magnétique pour le traitement de la prostate seule est très envisageable pour nous. Il faudra simplement nous attarder à chacun des ajustements nécessaires et envisager tous les défis possibles tout au long des étapes de planification jusqu'à la mise en traitement. La transition devra se faire en douceur et être méticuleusement documentée. Nous nous attendons évidemment à une charge de travail supplémentaire en début de projet étant donné la nouveauté pour tous les membres de l'équipe. Quand le temps sera venu pour nous d'implanter cette nouvelle technique, nous aurons fait preuve de suffisamment de préparation et de recul sur la situation pour être prêts à partir du bon pied et affronter toutes les embûches.

RÉFÉRENCES

Présentation « MRI-only based radiation therapy of prostate cancer », faite par Jean-François Cabana, physicien médical clinique

FIGURES

1, 2, 3, 5, 6 a et b, 7, 8 – tirées de la banque personnelle de Jean-François Cabana, physicien médical clinique du CISSS de Chaudière-Appalaches.

4 – fournie par Siemens Healthineers

REMERCIEMENTS

Merci à Jean-François Cabana, physicien médical clinique, qui nous a laissées mettre en mots son projet de recherche et qui nous a guidées dans la rédaction de cet article.

Un merci spécial à Julie Paquet, t.r.o., chef de service, de nous avoir libérées afin de travailler sur le projet.



Radiothérapie adaptative et intelligence artificielle

Démystifier la radiothérapie adaptative, les rôles de l'intelligence artificielle et la façon dont le travail du technologue en radio-oncologie évoluera avec cette nouvelle technologie.



Marco Lessard,
t.r.o.
Product Manager
Varian Medical
Systems

L'évolution de la technologie ouvre les portes sur une nouvelle façon de délivrer la radiothérapie externe. Nous entendons de plus en plus fréquemment parler d'intelligence artificielle, un terme vague pour certains, mais qui pique la curiosité des autres, un terme qui peut même jusqu'à soulever des angoisses. Comment mon travail de technologue en radio-oncologie sera-t-il affecté? Vais-je conserver mon emploi?

Le chemin que ma carrière de technologue en radio-oncologie a pris au cours des dernières années m'a donné l'opportunité de travailler sur le développement de la radiothérapie adaptative, de repenser la façon dont la radiothérapie est prescrite, planifiée, délivrée et contrôlée. Toutes ces étapes de radiothérapie constituent un problème complexe qui mène à l'utilisation de l'intelligence artificielle. L'intelligence artificielle devient un compagnon de travail très utile.

Ce texte a pour but de démystifier la radiothérapie adaptative, les rôles de l'intelligence artificielle et, principalement, la façon dont le travail du technologue en radio-oncologie évoluera vers cette nouvelle technologie.

État de la situation

Notre objectif en radiothérapie a toujours été le même depuis des décennies: irradier à dose curative la tumeur et son étendue le plus précisément possible tout en évitant de trop irradier les tissus sains et générer des effets secondaires indésirables. Cette quête de précision s'améliore avec le temps; elle a commencé à faire des bonds de géant avec l'utilisation de l'ordinateur.

Certains d'entre nous se rappellent comment était la planification d'un traitement dans les années antérieures à l'an 2000. La simulation en fluoroscopie définissait les limites de champs à partir de l'anatomie osseuse et des distances préétablies. Certes, nous utilisons des marges généreuses pour irradier la maladie, mais, du fait même, nous irradiions aussi beaucoup de tissus sains. Même avec de généreuses marges, avons-nous toujours irradié la maladie à chacun des traitements? Difficile d'y répondre, mais avec les connaissances actuelles, il est facile d'imaginer que non.

Cette simulation était suivie d'une mesure d'épaisseur du patient sur l'axe central, et un calcul de temps de traitement était effectué avec une bonne vieille calculatrice et des tables de facteurs. Dans les cas les plus évolués, nous prenions un contour axial sur papier et représentions la distribution de dose avec des systèmes de dosimétrie en 2D. Le radio-oncologue choisissait d'appliquer sa prescription sur une isodose, ce qui définissait l'amplitude de dose du volume irradié.

Quand l'utilisation de la tomographie axiale assistée par ordinateur (CT scan) s'est démocratisée, un autre bond de géant fut fait dans le domaine de la planification. La radiothérapie en 3D est née. Du coup, nous pouvions mieux voir l'anatomie du patient, dans certains cas, bien voir la maladie. Nous pouvions mieux contrôler la forme de la haute dose en la façonnant avec des formes convexes. Un bénéfice évident, mais à un prix plus élevé. Le niveau de complexité de la planification de traitement a augmenté, ce qui entraîne la nécessité d'avoir plus de connaissances, une main-d'œuvre plus spécialisée pour commencer un traitement de radiothérapie. Le temps entre la décision de traiter et le premier traitement s'est aussi accru. C'est le début du cercle vicieux de la planification de traitement. Plus on a de patients à planifier, plus on a besoin de temps avec une conséquence non négligeable: l'image instantanée de l'anatomie du

patient que l'on utilise pour la planification date d'un certain temps. Nous considérons que l'anatomie du patient ne change pas pendant tout ce temps.

À la fin des années 1990, au début des années 2000, la modulation d'intensité (IMRT) commence à faire partie de nos vies: une évolution importante en radiothérapie. On peut maintenant faire des formes de haute dose concaves et mieux contrôler la basse dose pour limiter les doses aux tissus sensibles. Encore une fois, des avantages évidents, mais rien pour remédier au fameux cercle vicieux du délai entre la décision de traiter en radiothérapie et le traitement. En fait, la complexité a augmenté significativement, non seulement le besoin de mieux dessiner les volumes cibles et les organes à risque, mais aussi le savoir des spécialistes de planification. Sans parler du besoin de faire un bon contrôle d'assurance qualité du plan de traitement.

Le concept de marge de traitement a grandement aidé à contrôler toutes ces incertitudes. Nous utilisons des marges suffisamment généreuses pour tenir compte de l'évolution de la maladie entre le CT scan de planification et le premier traitement, l'extension microscopique de la maladie sur des images radiologiques. Et bien sûr, les marges tiennent compte de l'incertitude du positionnement du patient sur la table de traitement. Ce qui nous amène au dernier bond de l'évolution de la radiothérapie moderne: la radiothérapie guidée par l'image (IGRT). Nous pouvons maintenant voir l'anatomie du patient sur la table de traitement et positionner cette forme 3D de haute dose en fonction de l'anatomie du jour. En d'autres termes, nous adaptons le patient à la machine de traitement.

Que nous manque-t-il maintenant? Nous modulons la radiation autour de la maladie, nous modulons l'intensité de la dose et nous la

Il est possible «d'enseigner» à l'ordinateur ce concept fondamental que chaque dosimétriste connaît et applique: déposer la dose au volume cible et réduire le plus possible la dose aux tissus sains.

positionnons dans le patient à partir d'une image radiologique prise sur la table de traitement. Tout semble parfait, jusqu'à maintenant. Le problème est que cette distribution de dose que certains spécialistes de planification ont passé des heures à peaufiner a été faite sur une image acquise plusieurs jours auparavant. Qu'en est-il vraiment? Les efforts mis de l'avant à manipuler le système d'optimisation de dose pour sauver quelques pourcentages ici et là, avoir un histogramme dose-volume (DVH) le plus élégant possible, est-ce que ces efforts sont vains?

Un exemple d'un cas de col utérin. La **Figure 1** représente une vue sagittale de la distribution haute dose (90% et plus) du plan initial à droite comparé à une vue de ce même plan recalculé sur l'anatomie du jour (CBCT) à gauche. Les marges utilisées dans cet exemple sont de 1 cm.

Clairement, les efforts mis en place pour obtenir la distribution parfaite lors de la planification sont grandement compromis lorsque l'on regarde cette même distribution sur l'anatomie du patient sur la table de traitement.

Une solution évidente nous vient tous en tête: nous allons adapter la distribution de dose, eh oui! Mais comment? Le temps pour effectuer les contours de l'anatomie, un élément essentiel pour un optimiseur de dose, n'a pas changé. Le temps pour créer le plan de traitement n'a pas non plus changé, ce qui, encore une fois, pour certains cas, représente des heures de manipulation du système de planification pour peaufiner «le» plan parfait.

Certes, nous pouvons aujourd'hui mettre un groupe de spécialistes à la machine et faire cette fameuse adaptation de dose avec l'anatomie du patient sur la table

de traitement. C'est possible oui, mais rien d'envisageable à grande échelle. Nous frappons la limite de ce que l'humain, avec toute sa bonne volonté, peut faire.

C'est maintenant que l'on peut faire un autre bond de géant dans l'évolution de la radiothérapie. L'ordinateur, intelligence artificielle, est un compagnon parfait pour nous aider à faire ce bond de géant.

Ici, l'intelligence artificielle ne remplace pas les décisions cliniques qu'un humain prend ou doit prendre. Il y a certes des branches de recherche de l'intelligence artificielle qui pointent sur des décisions cliniques. Ce sujet n'est pas le but de cet article. Les prochains paragraphes porteront sur l'intelligence artificielle en tant que compagnon dans le but de reproduire des tâches de façon constante et, surtout, rapidement.

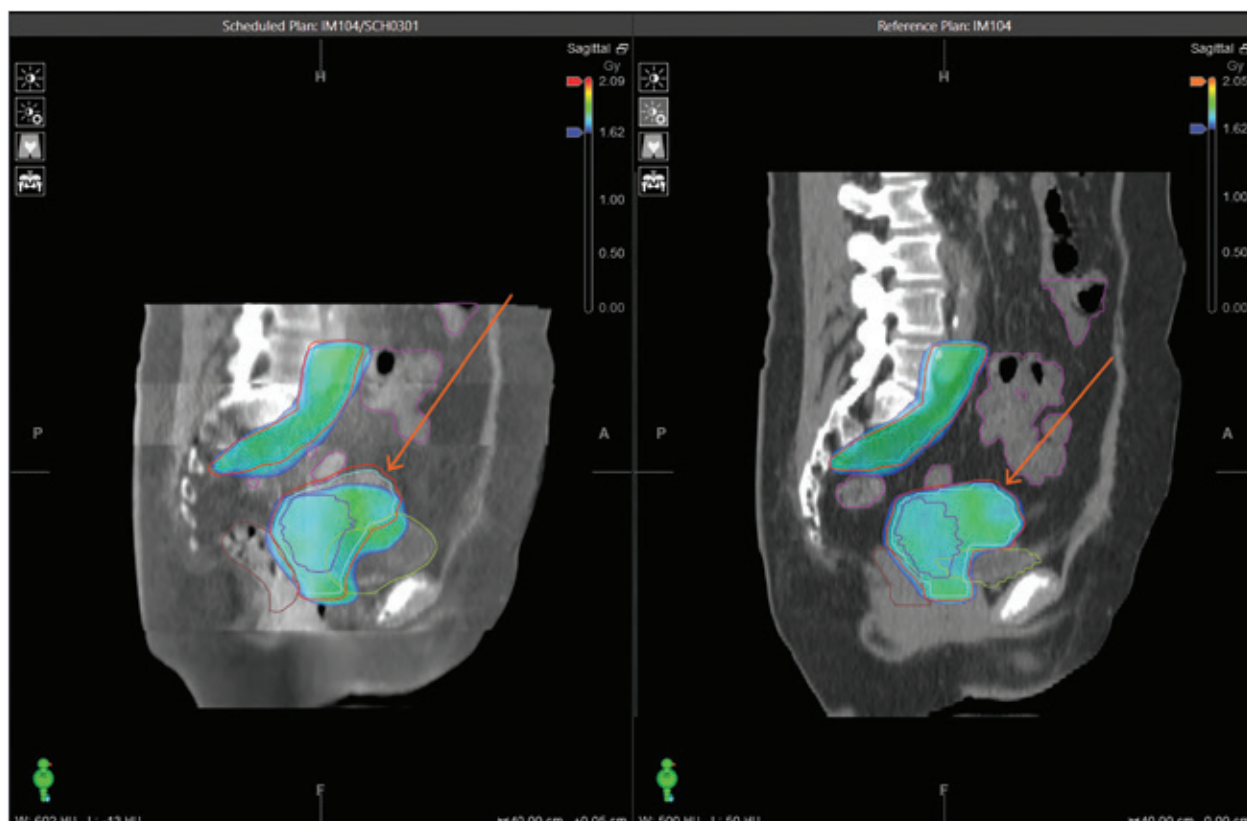


Figure 1 : À gauche : distribution de dose du plan initial recalculée sur l'imagerie du jour (CBCT); à droite : distribution de dose du plan initial calculée sur l'imagerie du CT de planification.

Radiothérapie adaptative intelligente

Pour pouvoir espérer que l'ordinateur aide l'équipe de traitement à personnaliser le traitement, à adapter la machine de traitement (plan de traitement) à l'anatomie du patient et non l'inverse, il faut commencer au tout début du processus de planification de radiothérapie: la prescription. Actuellement, une bonne partie de la prescription de radiothérapie fait partie des connaissances du médecin et du dosimétriste, une partie qui demeure abstraite pour l'ordinateur. Déterminer l'endroit où la dose doit être déposée et définir une distribution de dose cliniquement acceptable de façon à ce que cette prescription soit encodée dans le système sont deux parties essentielles pour que celui-ci acquière les connaissances du médecin et du dosimétriste, et ainsi commencer à donner de l'intelligence au système.

Encoder les objectifs cliniques, la couverture de dose, les limites de dose des tissus sains, les marges des volumes cibles et la priorité des objectifs cliniques constitue un aspect très important. Lors de la création d'un plan de traitement, quand il y a un conflit entre la couverture du volume cible et la dose aux tissus sains, une décision clinique est prise. Le système doit avoir cette connaissance: quel objectif a préséance sur quel autre. Revenons à l'exemple du cas de col utérin. Il est probable, lors de la planification initiale, que la couverture du volume cible soit possible sans outrepasser la limite aux petits intestins. Cependant, lorsque le patient est sur la table de traitement, l'anatomie peut changer significativement et occasionner une difficulté de couvrir le volume cible et de dépasser la limite aux intestins. Lors de la planification initiale, le dosimétriste a tout son temps pour

faire un ou plusieurs plans et, par la suite, contacter le médecin traitant et discuter des compromis à faire. Mais quand le patient est sur la table de traitement, le problème est différent, chaque seconde compte. Le système et l'humain doivent connaître l'ordre d'importance des objectifs cliniques.

Bien d'autres aspects entrent en ligne de compte lors de la création d'un plan de traitement. Lorsqu'un humain crée un plan de traitement à partir d'une prescription et des objectifs cliniques, l'humain va tenter de satisfaire les objectifs cliniques, mais ne s'arrêtera pas là. Il est naturel de donner la dose la plus basse possible aux tissus sains. Par exemple, l'objectif clinique est d'avoir moins de 45 Gy a la moelle épinière; une fois cet objectif atteint, si c'est possible, nous allons descendre cette dose le plus bas possible tout en maintenant les autres aspects de la

Profitez
de nos rabais
exclusifs pour
les membres
de l'OTIMROEPMQ



Nous réduisons le prix de votre renouvellement ou soumission d'assurance automobile et/ou habitation chez la concurrence de **15%*** minimum.



Profitez d'un régime d'assurance collective à la carte pour vous et votre famille.



APPELEZ-NOUS SANS PLUS TARDER

1 877 304-9334

LussierDaleParizeau.ca/otimroepmq

**Lussier
Dale Parizeau**
Cabinet de services financiers



*Certaines conditions s'appliquent.

Nos connaissances anatomiques et dosimétriques seront de plus en plus utiles et nécessaires. En d'autres termes, chaque technologue en salle de traitement sera un dosimétriste.

distribution de dose optimale. Bien des solutions existent pour générer ce fameux plan qui dépose la dose au volume cible et le moins possible aux tissus sains. Quand on regarde diverses cliniques dans le monde, chaque clinique a sa propre solution, sa recette secrète : une composante artistique à la création d'un plan de traitement. Certes, il y a des différences dans les outils disponibles chez les différents fabricants de système de planification de traitement, mais pour un même patient et un même système de planification, si l'on demande à plusieurs dosimétristes de différentes cliniques de réaliser un plan, il y a de bonnes chances que l'on obtienne autant de plans différents que de dosimétristes. Tout un chacun dira qu'il a créé le meilleur plan de traitement. Cette variation peut même exister pour différents plans d'un patient faits par un seul dosimétriste.

Voici un aspect avec lequel notre compagnon, l'ordinateur, peut nous aider. Il est possible d'«enseigner» à l'ordinateur ce concept fondamental que chaque dosimétriste connaît et applique : déposer la dose au volume cible et réduire le plus possible la dose aux tissus sains. L'ordinateur a aussi la capacité d'apprendre ce à quoi doit ressembler une distribution de dose pour un type de maladie à traiter. Prenons un cas de prostate par exemple. Une personne d'expérience peut, en un coup d'œil rapide à l'histogramme dose-volume (DVH), dire si le plan ressemble au plan typiquement approuvé pour un cas de prostate du même stade. En donnant au système suffisamment de cas de prostate du même stade, des cas déjà traités à notre clinique, voire plusieurs différentes cliniques, le système peut apprendre, et construire un modèle qu'il utilisera pour prédire chaque

nouveau cas de prostate avec une distribution de dose typique à laquelle on doit s'attendre. Un outil utile pour le système afin d'optimiser un plan de traitement, mais d'autant plus utile pour l'humain qui a la tâche d'évaluer le plan. Si l'histogramme dose-volume du plan final correspond à l'estimation du modèle, il est possible de dire que ce plan pour ce patient est dans les normes des autres patients déjà traités à la clinique. Encore une fois, il est important de répéter que l'ordinateur exécute les tâches, mais que l'humain est absolument nécessaire pour juger de la qualité des résultats.

Bien qu'il soit possible de donner plus de détails sur l'aspect création de plans de traitement et intelligence artificielle, un autre aspect essentiel en planification de traitement est la délimitation des contours. Identifier l'anatomie sur les images de planification

et effectuer la délimitation des contours engorge le processus d'élaboration d'un plan de traitement. Si l'on veut adapter la radiation à l'anatomie du patient, comme elle se présente sur la table de traitement, il est impératif de gérer la question des contours et d'augmenter la vitesse d'exécution de cette étape.

L'intelligence artificielle qui s'invite dans le domaine de l'anatomie humaine, nous en avons probablement tous déjà entendu parler. Concentrons-nous sur l'utilisation de l'intelligence artificielle dans notre domaine: la radiothérapie. Le but est d'«entraîner» l'intelligence artificielle à reconnaître les organes radiosensibles sur un CT scan de planification ainsi que sur les Cone Beam CT (CBCTs) pour les patients atteints de cancer. Ce dernier point est important. «Enseigner» seulement à l'intelligence artificielle l'anatomie de personnes en santé crée des modèles qui fonctionneront sur les patients avec une anatomie telle que décrite dans les livres. On sait tous que la maladie ainsi que les chirurgies que nos patients subissent peuvent changer l'anatomie de façon significative. C'est un des défis pour l'intelligence artificielle et la délimitation anatomique. Plus grande est la variété de patients utilisés pour «enseigner» un modèle d'intelligence artificielle, plus fiables seront les résultats.

Ce qui m'amène à parler de la fiabilité des contours résultants de la détection par intelligence artificielle. Bien que l'on «enseigne» à l'intelligence artificielle différents patients dans différentes conditions, le résultat des contours ne sera pas fiable à 100%, du moins à court et moyen terme. Tout comme les contours faits par un humain, on ne peut garantir la perfection. Il faut se vérifier et se corriger entre

nous. Le même concept est applicable pour des contours qui sont créés par l'intelligence artificielle. Il est impératif que l'humain vérifie et corrige les contours. L'avantage est que l'intelligence artificielle n'a pris que quelques secondes à détecter l'anatomie et à effectuer les contours, plutôt que 30 minutes, voire 1 heure ou même plus.

Changements dans notre travail

Quels sont les changements que l'intelligence artificielle apporte dans notre quotidien de technologue en radio-oncologie?

La planification initiale

Comme décrit précédemment, la prescription devient beaucoup plus détaillée. Pour certains cas, le médecin passe plus de temps à définir la prescription, mais dans la majorité des cas, en quelques clics de souris, cette prescription bien détaillée est définie.

Cette prescription détaillée n'est pas seulement utile pour l'intelligence artificielle à la création du plan de traitement. Elle constitue aussi un avantage pour nous les technologues. Elle devient un outil utile pour mieux comprendre l'intention du médecin pour le traitement du patient du début à la fin.

La délimitation des contours automatique faite à partir de l'intelligence artificielle réduit considérablement le temps passé à cette tâche. Le travail du dosimétriste devient une tâche de revue et de correction des contours plutôt que de dessiner les organes à partir de zéro.

L'intelligence artificielle gère automatiquement la grande majorité des plans de traitement. La tâche du dosimétriste revient à

la revue des résultats; ce qui libère le dosimétriste qui peut se concentrer aux cas plus exceptionnels ou plus complexes.

Le traitement

En salle de traitement, la radiothérapie adaptative intelligente engendre les plus grands changements dans les tâches du technologue.

Pour la gestion de la salle de traitement et le soutien aux patients: aucun changement en vue. Par contre, l'aspect technique du traitement change.

L'objectif est d'utiliser un plan optimisé à l'anatomie du jour. Le temps visé pour une séance de radiothérapie adaptative, incluant la planification suivie du traitement, est d'environ 15 minutes. Deux raisons principales expliquent ce temps visé. Tout d'abord, il serait impensable de développer une nouvelle technologie qui nécessiterait plus de temps à l'appareil de traitement et qui diminuerait par le fait même le nombre de patients traité par jour. La deuxième raison est de tenir compte de l'évolution de l'anatomie pendant que le patient est installé sur la table de traitement. Imaginez qu'on prend un CBCT, on passe 15 à 20 minutes à délimiter les contours. Ensuite de 15 à 20 minutes supplémentaires à générer et à peaufiner un plan de traitement. Les risques que l'anatomie évolue ou change sont bien présents. Ou les risques que le patient bouge sont non négligeables. Donc, le facteur temps devient un aspect très important pour une séance de traitement. L'intelligence artificielle devient l'outil qui rend possible la radiothérapie adaptative en 15 minutes.

Voici un aperçu d'une séance de traitement adaptative

Le technologue positionne, immobilise si nécessaire, le patient en position de traitement. Il n'est pas nécessaire de positionner aussi précisément le patient ou de tenter de reproduire la position initiale aussi précisément qu'avec la technique traditionnelle. Nous allons, de toute façon, adapter le plan en fonction de l'anatomie du jour. L'important est que le patient soit confortable pour les 15 prochaines minutes. Le technologue procède à l'acquisition du CBCT. L'étape de fusionner les images pour ajuster la position de l'isocentre n'est plus nécessaire, car un nouveau plan sera créé à partir de la position actuelle de l'isocentre. L'intelligence artificielle procède à la détection et à l'auto-délimitation des contours des organes, une étape qui prend quelques secondes. La tâche du technologue est de revoir et de corriger les résultats des contours automatiques. Selon les données que l'on possède actuellement, cette tâche prend en moyenne de 2 à 3 minutes. Une fois les contours des organes revus, le système utilise les contours des volumes cibles du CT de planification (tel que dessiné et approuvé par le médecin) et les contours des organes sur le CBCT pour calculer la position des volumes cibles du jour: une tâche d'environ 30 secondes pour l'ordinateur. Le technologue entre en jeu et procède à la revue des résultats: une tâche qui prend en moyenne de 2 à 3 minutes. L'intelligence artificielle procède à la génération du plan

de traitement adapté. Quelques minutes suffisent à l'optimisation et au calcul du plan. Le technologue procède à une revue finale du plan avant de procéder au traitement.

En tout temps, le technologue a accès à la prescription détaillée, aux contours de la planification initiale et à la distribution de dose initiale: le technologue a tous les outils pour s'assurer que les nouveaux contours et la nouvelle distribution de dose correspondent au contour et à la distribution de dose approuvée par le médecin en planification initiale.

En ce qui concerne l'assurance qualité du nouveau plan de traitement, la prise de mesure est impossible, car le patient est sur la table de traitement. D'autres méthodes d'assurance qualité utilisant des applications spécialisées sont nécessaires. Le détail de ces méthodes ne fait pas partie de l'objectif de cet article.

Les estimations de temps décrites plus haut sont extraites des résultats des quelques centres qui utilisent déjà cette technologie. Comme on remarque, les changements de tâches et de responsabilités en salle de traitement sont importants. On sait que le temps de 15 minutes est possible, mais évidemment ne sera pas atteint pour tous les cas, surtout pendant la période d'apprentissage de la technologie.

La radiothérapie adaptative intelligente en est à ses premiers pas, des études sont en cours sur le sujet.

Conclusion

Reprenons la question de l'introduction: avec l'intelligence artificielle, vais-je conserver mon emploi? La réponse est définitivement « oui! » Ne serait-ce que pour l'interaction avec les patients et le soutien psychologique, le technologue est indispensable. Cependant, du côté technique, nos responsabilités changeront et évolueront. Tout comme l'ont déjà fait la radiothérapie par intensité modulée (IMRT) et la radiothérapie guidée par l'image (IGRT), notre travail de technologue en radio-oncologie a changé avec

ces deux évolutions majeures. L'intelligence artificielle et la radiothérapie adaptative changeront notre quotidien. Le besoin de saisir des tonnes de données, d'effectuer les contours, d'enregistrer les paramètres géométriques, de manipuler un optimiseur de doses diminueront grandement. Plutôt, la revue et l'interprétation des résultats seront notre quotidien. Nos connaissances anatomiques et dosimétriques seront de plus en plus utiles et nécessaires. En d'autres termes, chaque technologue en salle de traitement sera un dosimétriste.

FIGURES

1 – Gracieuseté de la compagnie Varian Medical Systems.

RÉFÉRENCES

Nombreux projets de recherche internes chez Varian Medical Systems et plusieurs collaborations avec des hôpitaux internationaux.



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

Élections 2020

S'engager au sein du conseil d'administration

Un appel de candidatures pour pourvoir des postes au sein du conseil d'administration (CA) de l'Ordre est à venir au cours des prochaines semaines. Nous vous invitons à considérer cette belle opportunité vous permettant de participer activement au développement de votre profession en contribuant à la définition des orientations de l'Ordre sur des dossiers stratégiques.

Les administrateurs sont élus pour un mandat de trois ans.

Surveillez l'avis d'élection à venir pour soumettre votre candidature.

Membres du CA 2019-2020



De gauche à droite: Paulette Legault, admin. nommée, Dominique Guérin, t.i.m., Isabelle Harvey, t.i.m., Annie Boudreau, t.i.m., Maripier Lajoie, t.i.m. (trésorière), Sylvie Hertrich, admin. nommée, Mélanie Ratelle, t.r.o. (présidente), Jean-Denis Asselin, admin. nommé, Valérie Faucher, t.i.m. (vice-présidente), Maxime Nadeau, t.i.m., Marie-Josée Paquin, t.i.m., Katy Gagnon, t.i.m., Steve Hudon, t.i.m., Catherine Forget, t.r.o., Nancy Bouchard, t.e.p.m., Mélanie Beaudry, t.i.m. et Jean-Paul Morin, admin. nommé (absent sur la photo).



On s'occupe de vos finances. On vous laisse le soin des patients.

Économisez jusqu'à **1 035 \$*** annuellement.

Adhérez à l'offre exclusive pour les **technologies en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale.**

bnc.ca/specialiste-sante

Fière partenaire de :

l'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 Platine, *World Mastercard*^{MD} ou *World Elite*^{MD} *Mastercard*^{MD} de la Banque Nationale. L'économie annuelle potentielle de 1 036 \$ est une illustration de ce qui peut être obtenu par un détenteur de l'offre. Elle est basée sur le profil type d'un détenteur de l'offre qui détient ce qui suit : un forfait bancaire équivalent au forfait Le Total^{MC}; une carte de crédit *World Elite Mastercard*; une marge hypothécaire Tout-En-Un Banque Nationale^{MD} avec un solde annuel courant de 150 000 \$; une marge de crédit personnelle avec un solde annuel courant de 25 000 \$, le tout avec une bonne cote de crédit auprès des bureaux de crédit. L'économie a été calculée de la manière suivante : absence de frais mensuels liés aux transactions incluses dans le forfait Le Total (économie annuelle de 311 \$), plus un rabais annuel de 0,25 % sur le taux de la marge Tout-En-Un (économie annuelle de 375 \$), plus un rabais annuel de 2,00 % sur le taux de la marge personnelle (économie annuelle de 500 \$), moins le montant des frais annuels liés à la carte de crédit *World Elite Mastercard* pour un an. Ces rabais représentent la différence entre ce que pourrait avoir un client ne faisant pas partie de l'offre, et un client qui en fait partie. Certaines conditions d'admissibilité s'appliquent, pour plus de détails, visitez bnc.ca/specialiste-sante. Il se peut que l'économie potentielle ne représente pas l'économie nette que vous obtiendrez, puisqu'elle varie selon votre situation financière. ^{MD} MASTERCARD, WORLD MASTERCARD et WORLD ELITE sont des marques de commerce déposées de Mastercard International inc., employées sous licence par la Banque Nationale du Canada. ^{MD} TOUT-EN-UN BANQUE NATIONALE est une marque de commerce déposée de la Banque Nationale du Canada. © 2019 Banque Nationale du Canada. Tous droits réservés.