

Décembre 2018 - Janvier 2019  
Volume 38, Numéro 3

# échos

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



## La technologie au service du patient



**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 **technologues en imagerie  
médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale.**



[bnc.ca/specialiste-sante](http://bnc.ca/specialiste-sante)



\* 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<sup>MD</sup> ou World Elite<sup>MD</sup> Mastercard<sup>MD</sup> 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<sup>MD</sup>; une carte de crédit World Elite Mastercard; une marge hypothécaire Tout-En-Un Banque Nationale<sup>MD</sup> 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](http://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. <sup>MD</sup> RÉALISONS VOS IDÉES et LE TOTAL sont des marques de commerce de la Banque Nationale du Canada. <sup>MD</sup> 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. <sup>MD</sup> TOUT-EN-UN BANQUE NATIONALE est une marque de commerce déposée de la Banque Nationale du Canada. © 2018 Banque Nationale du Canada. Tous droits réservés.

# Sommaire



**La technologie  
au service  
du patient**

**Édito de la présidente 4**

**Nouveau gouvernement  
Priorité à l'accès qui passera par la collaboration  
entre professionnels**

**Passé composé 6**

**La mammographie  
(suite – édition de septembre-octobre 2018)**

**Ça ne s'invente pas! 8**

**TOUT EST BEAU! ...vraiment? ...mais pour qui?**

Dossier de formation

**Électrophysiologie médicale 10**

**Quand le stimulateur cardiaque imite la physiologie et la dynamique d'un cœur sain.**

L'amélioration de la qualité de vie est au cœur des avancées technologiques en stimulation cardiaque.

**L'électroconvulsivothérapie**

L'électroconvulsivothérapie est reconnue pour être efficace pour plusieurs troubles mentaux et certaines conditions médicales graves.

**Médecine nucléaire 24**

**Thérapies radioactives, révolution à venir!**

Nouvelle approche thérapeutique en médecine nucléaire.

**La théranostique contre le cancer:  
une médecine personnalisée... et bien dosée**

Nous voilà dans l'ère de la médecine personnalisée.

**La radiothérapie interne sélective:  
cibler pour mieux soigner**

La radiothérapie interne au service du patient.

**Radiodiagnostic 34**

**L'impression 3D et l'imagerie médicale:  
Quand «toucher aide à mieux comprendre»!**

L'impression 3D envahit la santé grâce à l'imagerie médicale et aux technologues!

**Intelligence artificielle et maladie cardiovasculaire:  
Amies ou ennemies?**

Quand les technologies de l'information modifieront nos professions médicales.

**La civière ergonomique au profit du technologue  
en imagerie médicale – échographie**

Une civière pour le confort du patient... et du technologue!

**Radio-oncologie 60**

**Le tomodesitomètre double énergie en planification  
de traitement**

Qu'en fait-on réellement en radio-oncologie?

**SGRT: Radiothérapie guidée par la surface**

Existe-t-il une technologie de pointe qui surveille la position du patient pendant la radiothérapie?

Depuis 1964, ÉchoX est la revue de l'Ordre des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale. La revue est tirée à 7 100 exemplaires. • **COMITÉ DE LA REVUE** Renée Breton, t.r.o.; Carole Chaumont, t.e.p.m.; Mohamed Khélifi, t.i.m.; Caroline Harvey, t.i.m.

• **COLLABORATEURS** Félix Déry, t.i.m., Angela Di Marzio, t.e.p.m., Benoit Galarneau, ing., M. Sc. A., MBA, Josée Girard, t.e.p.m., François Hébert, t.i.m., Dre Ivana Isgum, Mohamed Khélifi, t.i.m., Tim Leiner, MD, Ph. D, EBCR, FSCCT, FSCMR, FISMRRM, Dre Morgane Lemasson, Luc Mainville, t.i.m., d.a.a., Dr Simon Patry, Vanessa Perreault, t.r.o., Daisy Poulin Robert, t.r.o., Amélie Turmel, t.r.o., Dr Jelmer M. Wolterink, MD.

• **RÉVISION ET CORRECTION** Marie-Johanne Tousignant, M. Ed., Stratégie Rédaction; Alain Crompt, t.i.m.(E), B.Ed., D.S.A. M.A.P., Adm. A., directeur général et secrétaire de l'OTIMROEPMQ • **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 et Marc Bruneau • **IMPRESSION** Solisco • **POLITIQUE D'ABONNEMENT** Les membres et étudiants en dernière année de formation collégiale reçoivent l'ÉchoX trois fois par année. Abonnement offert à 70\$ 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](http://www.otimroepmq.ca)

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





# L'ÉDITO DE LA PRÉSIDENTE



## Nouveau gouvernement PRIORITÉ À L'ACCÈS QUI PASSERA PAR LA COLLABORATION ENTRE PROFESSIONNELS

**Le nouveau gouvernement, élu le 1<sup>er</sup> octobre dernier au Québec, amorce son mandat en professant un changement de ton avec les professionnels de la santé. Fini la confrontation, les changements de structure qui bouleversent la façon dont les soins sont dispensés. On nous assure une ère de collaboration, d'interdisciplinarité, d'accessibilité facilitée aux soins de santé en se concentrant sur le bien-être du patient. Pour ce faire, le réseau de la santé aura besoin de la contribution des technologues et de tous les autres professionnels de la santé et des services sociaux. Toutes les démarches que nous avons entreprises ces dernières années nous auront préparés à relever les défis qui nous attendent. Nous sommes prêts !**

Les technologues ont démontré au cours des dernières années qu'ils peuvent faire la différence lorsqu'on parle de l'accès aux services. Ils permettent souvent aux patients d'alléger leur parcours dans le réseau et d'obtenir

les services de grande qualité, plus rapidement.

On a vu s'accroître le besoin de technologues autonomes en échographie lorsque les examens en échographie ont été couverts par la RAMQ dans les cliniques privées. On l'a aussi observé l'été dernier avec l'accroissement des heures d'utilisation des SCAN et des IRM pour que les équipements soient en opération 16 heures par jour.

Or, il ne suffit pas d'avoir plus d'équipements et d'appareils technologiques disponibles. Le gouvernement devra nettement mieux planifier la main d'œuvre pour s'assurer que les ressources sont là quand il décide d'augmenter l'offre. Soyons clairs : c'est un plus grand accès à l'offre de services et à l'expertise des technologues qui fera la différence. Sans technologues, point d'accès.

## C'est un plus grand accès à l'offre de services et à l'expertise des technologues qui fera la différence.

### Pour une utilisation clinique judicieuse

L'Ordre a réalisé de nombreuses actions afin d'affirmer avec assurance que les technologues sont prêts à relever les défis de demain et à mettre leur expertise au profit de meilleurs soins de santé pour le public. L'Ordre a travaillé à rehausser la formation initiale dans pratiquement tous les secteurs, à faire développer un programme de formation pour diplômer des technologues autonomes en échographie, à réviser le programme d'inspection professionnelle (technologue versus établissement) et à mettre en place plusieurs pratiques avancées.

Nous constatons malgré tout que les compétences de nos membres sont sous-utilisées pour la réalisation des examens et des traitements auxquels ils participent. Par exemple, les technologues pourraient intervenir pour proposer des ajustements aux ordonnances d'examen diagnostics requis.

### La pertinence des examens : un enjeu de taille

Nous entendons de plus en plus parler de la pertinence des examens entraînant une sur-consommation, un sur-diagnostic et un sur-traitement. La demande à des fins diagnostiques, notamment,

est hors contrôle et les données démontrent que plus étendue est la couverture publique, plus la demande augmente. Selon l'Association médicale du Québec, 15 à 35% des examens prescrits en imagerie médicale seraient évitables. Cela représente des dépenses de 3 à 5 milliards, montants qui pourraient être utilisés plus judicieusement chaque année. Et si les technologues pouvaient collaborer à améliorer cette pertinence ?

Par exemple, imaginez si les technologues étaient mis à contribution à l'urgence. Ils pourraient développer plus de synergie avec l'équipe de l'urgence afin que les examens prescrits soient plus pertinents.

De plus, l'accès aux informations contenues dans le DSQ – accès tant attendu – permettra également d'avoir un portrait plus juste des examens réalisés antérieurement. L'Ordre en a fait un cheval de bataille.

De nouvelles technologies se développeront toujours. Dans nos domaines, l'innovation fait partie de notre quotidien. Gardons en tête ceci : la véritable innovation passe aussi par les moyens mis en place pour accroître la pertinence des examens prescrits. Le bon examen, dans les délais raisonnables, associé aux besoins cliniques du patient doit être bien identifié. Nos technologues font partie de

la solution pour autant qu'ils sont davantage intégrés aux équipes de soins.

Je termine ce billet en vous souhaitant mes meilleurs vœux pour la période des Fêtes. Santé, bonheur et plénitude. Soyez comblés d'instant précieux de qualité avec vos familles et vos proches.

*La véritable  
innovation passe aussi  
par les moyens mis en  
place pour accroître  
la pertinence des  
examens prescrits.  
Nos technologues  
font partie de la  
solution pour autant  
qu'ils sont davantage  
intégrés aux équipes  
de soins.*

Votre présidente,

Danielle Boué, t.i.m.



# La mammographie

(Suite de l'édition septembre-octobre 2018)

L'Ordre devient partenaire dans le cadre des travaux de ce programme, en concertation avec le Collège des médecins, afin d'orienter le mode d'accès au programme de dépistage pour les femmes ciblées. De plus, l'Ordre a obtenu une première subvention de 20 000\$ du ministère de la Santé et des Services sociaux pour la formation des technologues en contrôle de qualité.

En 1995, le conseil d'administration avait déjà déterminé la composition de la session de formation de 35 heures en mammographie :

- 15 heures en techniques et difficultés
- 15 heures en contrôle de qualité
- 5 heures en radioprotection.

Le premier bloc en techniques et difficultés a un succès immédiat; au cours de la première session en 1995, 133 participants suivent la formation.

Une nouvelle session intensive complétant le programme de mammographie de 35 heures est disponible à l'automne 1997. Deux sections composent cette formation : contrôle de qualité en



mammographie (15 heures) et radioprotection en mammographie (5 heures).

L'Ordre poursuit sa participation et sa contribution au PQDCS; en 1999 plus de 596 technologues sont admises à participer au PQDCS.

Afin de s'assurer de l'excellence de ses membres, l'Ordre met de l'avant un projet qui permet aux technologues attestées de bénéficier d'une formation pratique adaptée aux normes et exigences du PQDCS. À cet effet, l'Ordre étudie

la possibilité d'instaurer des centres de formation pour le sein, des centres d'excellence qui pourraient contribuer à la formation pratique des technologues.

Au tournant de l'an 2000, l'Ordre collabore à la révision du *Manuel de contrôle de la qualité en mammographie pour le technologue en radiologie*. En même temps, le conseil d'administration adopte la position suivante au regard du PQDCS :

«À compter du 1<sup>er</sup> avril 2000, toute technologue désirant participer au PQDCS doit s'inscrire à l'Ordre, et si elle satisfait aux exigences de base, elle disposera d'un an pour réussir le programme de formation en mammographie afin d'obtenir l'attestation professionnelle.» [CA de l'Ordre] Conscient de la difficulté pour certaines personnes d'avoir accès à de la formation pertinente, afin de respecter cette exigence, l'Ordre organise, avec la collaboration du MSSS, un colloque de 15 heures en mammographie. Ce colloque présenté deux fois par année est offert à compter de 2003.

En 2005, l'Ordre étudie la possibilité d'imposer un règlement

de formation continue obligatoire en mammographie. L'entente avec le MSSS pour la formation continue des technologues en mammographie se poursuit en 2008 avec l'octroi d'une nouvelle subvention de 231 000\$ pour les années 2008 à 2011.

La mammographie est toujours considérée comme un secteur d'activité en constante évolution et fort exigeant en matière de compétences nécessaires à développer chez les membres. L'arrivée du numérique<sup>2</sup> dans ce secteur marque un tournant majeur. Cette situation incite l'Ordre à rehausser ses exigences pour l'obtention de l'attestation en mammographie numérique et à étendre cette exigence aux technologues œuvrant dans les laboratoires d'imagerie médicale exécutant des mammographies diagnostiques ou de dépistage.

Dans ce contexte, le conseil d'administration adopte la composition du nouveau programme de formation en mammographie en 2011. Le nouveau programme passe alors de 35 à 50 heures :

- Techniques et difficultés
  - Théorie 15 heures en ligne
  - Pratique 7 heures en salle
- Radioprotection 6 heures en ligne
- Contrôle de qualité en numérique :
  - Théorie 15 heures en ligne
  - Pratique 7 heures en salle

Ce secteur, en continu mouvement, est fort exigeant pour tous et année après année de nouveaux défis se pointent. Les pertes d'agrément de certains établissements dans le cadre du Programme d'agrément en mammographie (PAM) de l'Association canadienne des radiologistes remettent en cause les processus et les normes de qualité et c'est pourquoi l'Ordre participe à des groupes de travail avec diverses instances dont le ministère de la Santé et des Services sociaux et le Collège des médecins pour trouver des solutions.

Bien entendu, on ne peut passer sous silence toute la controverse soulevée dans les médias sociaux sur la pertinence du cache-thyroïde en mammographie et des grandes inquiétudes exprimées aux technologues par les patientes lors de la réalisation des examens. Une campagne d'information destinée d'abord aux patientes, afin de reconstruire leur confiance au regard de l'outil de dépistage qu'est la mammographie, a été lancée par l'Ordre.

Cette campagne composée d'une affiche, d'un dépliant, d'un site Web et d'une ligne téléphonique dédiée permet aussi aux technologues de disposer de tout le matériel nécessaire pour bien illustrer aux patientes l'inutilité de demander un cache-thyroïde lors d'une mammographie.

L'arrivée de la Direction québécoise de la cancérologie (DQC) dans le dossier de la mammographie permet de lancer une série de travaux dans ce secteur.

Dans la foulée de ces travaux, une nouvelle formation de 15 heures, développée grâce à la contribution financière du MSSS, disponible à compter de 2015, porte spécifiquement sur les problématiques de positionnement en mammographie et permet aux technologues de jeter un regard critique sur leur compétence en positionnement.

La mammographie continue d'occuper une place extrêmement importante au sein des interventions de l'Ordre et les démarches entreprises visent à améliorer la qualité du positionnement en mammographie, en améliorant la formation des technologues afin que les membres offrent la meilleure qualité professionnelle d'examen, et ce, au profit de toutes les femmes du Québec.

## Nouveau programme de rehaussement des compétences (Mise à jour – 2018)

C'est dans le cadre du Congrès annuel de l'OTIMROEPMQ, en 2018, que la présidente, Danielle Boué, t.i.m., a annoncé avoir conclu une importante entente avec le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) afin de rehausser les compétences des technologues du secteur de la mammographie. Cette décision a été prise conjointement avec le MSSS à la lumière des résultats de l'inspection professionnelle que l'Ordre a menée en 2017 en mammographie et qui démontrent qu'un nombre important de technologues ont besoin de parfaire leurs connaissances pratiques en matière de positionnement du sein.

Toutes les régions du Québec seront visitées. Les technologues bénéficieront de l'aide d'expertes qui se déplaceront dans les milieux de travail pour une formation sur place. L'entente conclue entre l'Ordre et le MSSS prévoit que c'est le ministère de la Santé qui assumera les frais de ce rehaussement de formation.



Campagne d'information sur le cache-thyroïde destinée aux patientes

2 – Selon l'Office québécois de la langue française, le mot numérique est un adjectif. Cependant, étant donné l'emploi extrêmement courant au Québec du mot «numérique» comme nom, il a été utilisé ainsi.



# TOUT EST BEAU! ...vraiment? ...mais pour qui?

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

**Cette simple petite phrase que l'on entend des dizaines de fois par jour dans nos salles d'examen est-elle vraiment aussi anodine et sans conséquences que nous le pensons? Peut-être pas.**

Est-ce que l'on entend, ou plutôt, est-ce que l'on comprend bien ce que l'on entend? Et qu'avons-nous dit au juste? «Tout est beau, vous pouvez quitter!»

Mais qu'est-ce qui était «beau» au juste? Oui, pour nous c'est clair, notre travail a bien été exécuté, mais pour nos patients, qu'est-ce qu'on vient de lui dire? Que son état de «santé» va bien ou s'améliore? Que son «problème n'existe plus»? Qu'il n'a pas à s'inquiéter? Que tout est «normal»? Oups! **Danger!**

Si jamais le rapport d'examen n'était pas si beau que ça, que se passerait-il? Le patient qui se présente devant son médecin, tout confiant, et qui apprend des nouvelles moins bonnes que celles qu'il avait anticipées, ne sera-t-il pas désappointé, pour ne pas dire déçu? Peut-être même sera-t-il quelque peu contrarié par la «mauvaise» information (?) qui lui avait été transmise? En tiendra-t-il rigueur au technologue pour ce «presque» diagnostic erroné? Le médecin traitant lui, appréciera-t-il cet imbroglio, lui qui devra remettre les choses en perspectives et fournir des explications à son patient? Se plaindra-t-il de votre «initiative»?\*

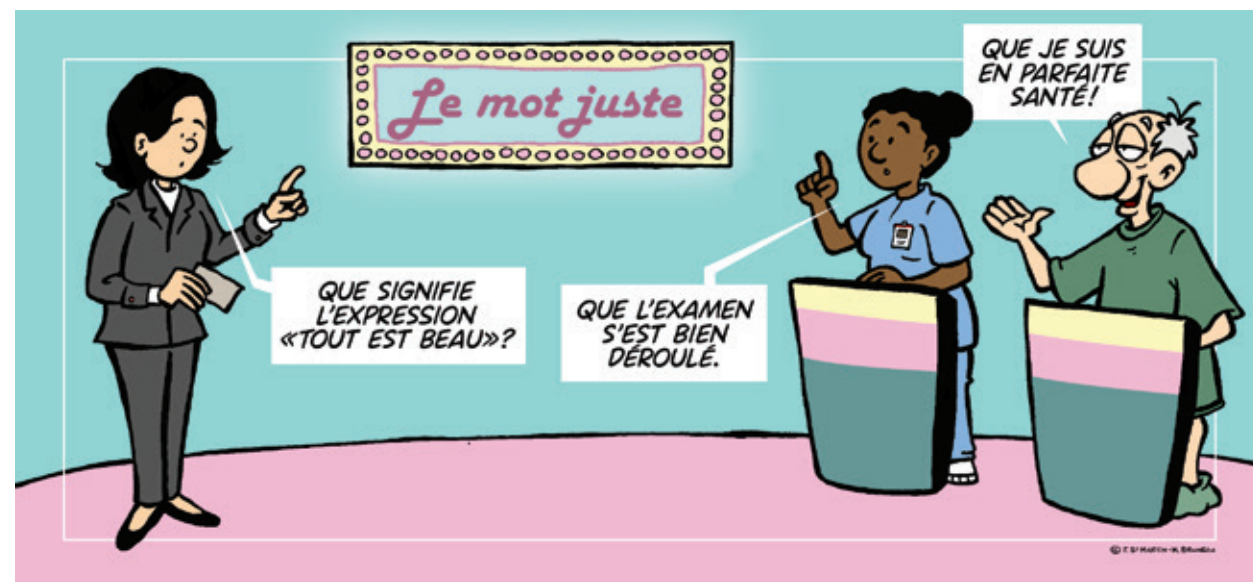
Que l'on se comprenne bien, oui tout cela part d'une bonne intention, d'une formule sympathique de réconfort et d'empathie, mais cela ne va-t-il pas au-delà de ce que nous recherchions à faire sans nous en rendre compte? On ne peut malheureusement pas contrôler ce que nos patients entendent et interprètent; de là, l'importance du message clair et précis.

Voici un exemple de dialogue:

- «Votre examen est complété, ce sera tout, les résultats seront transmis à votre médecin.»
- «Est-ce que tout est correct?»
- «Les images qu'on a prises sont correctes, vous avez bien fait ça. Pour les résultats, c'est le médecin qui s'en occupe!»

Ainsi votre patient sera satisfait de son examen et il n'y aura pas de confusion.

Dites-vous qu'il vous faut penser comme un patient anxieux et nerveux. Sachez trouver les bons mots toujours en lien avec le service que vous rendez et **TOUT SERA BEAU!**



\* Un cas semblable a déjà été porté à l'attention du Syndic.

VOUS AVEZ UN INTÉRÊT POUR LE CONTENU SCIENTIFIQUE ET LE PARTAGE DU SAVOIR?

# Devenez auteur pour l'ÉchoX!

Distribué à 7 100 exemplaires, l'ÉchoX est une revue crédible et reconnue par le monde scientifique. Publiée trois fois par année, elle présente du contenu lié à l'exercice de la profession : nouvelles tendances, innovations, pratiques prometteuses, rappels des règles de l'art, solutions pour des problèmes particuliers. En y publiant un article, vous avez non seulement l'occasion de partager vos connaissances avec vos pairs, mais également la possibilité de rayonner auprès des professionnels de la santé.

Autres avantages pour les membres de l'Ordre à publier un article dans l'ÉchoX

- Un article en lien avec la profession rédigé par un technologue membre de l'Ordre et publié dans l'ÉchoX est reconnu dans le cadre du DPP.
- Les auteurs membres de l'Ordre deviennent automatiquement admissibles au prix Jean-Paul-Rocheleau remis au meilleur article scientifique de l'année.

Thèmes retenus pour les prochaines éditions

Mars 2019 : La profession

Septembre 2019 : La gériatrie

Décembre 2019 : Télémedecine / Nouveautés technologiques

N'hésitez donc pas à soumettre vos idées aux membres du comité de la revue en écrivant à [communications@otimroepmq.ca](mailto:communications@otimroepmq.ca)!

Le comité de la revue

Renée Breton, t.r.o, responsable du comité,  
Carole Chaumont, t.e.p.m.,  
Mohamed Khélifi, t.i.m. (radiodiagnostic),  
et Caroline Harvey, t.i.m. (médecine nucléaire).





# Quand le stimulateur cardiaque imite la physiologie et la dynamique d'un cœur sain.

L'amélioration de la qualité de vie est au cœur des avancées technologiques en stimulation cardiaque.



Josée Girard, t.e.p.m., spécialiste clinique, gestionnaire de produits CRM Biotronik Canada Inc.

Dans les années soixante, l'arrivée du premier stimulateur cardiaque implantable a littéralement électrisé le monde médical. L'avancée des sciences jumelée au développement technologique des dernières décennies a permis un perfectionnement tel des stimulateurs cardiaques qu'ils sont désormais indispensables.

L'une des fonctions de ces appareils ayant augmenté significativement la qualité de vie des patients se nomme l'asservissement de fréquence. Cette dernière, comme l'indique son nom, permet une modulation de la fréquence cardiaque en fonction de divers facteurs physiologiques.

**Le capteur d'asservissement de fréquence idéal devrait être en mesure de produire des fréquences stimulées proportionnelles à la demande du métabolisme.**

En temps normal, la fréquence cardiaque s'adapte à la demande métabolique; elle varie selon que le patient est au repos ou qu'il fait de l'activité physique, ou lorsqu'il subit un stress physique ou psychologique.

Cependant, chez certains patients souffrant de dysfonction sinusale ou de fibrillation auriculaire, la modulation de la fréquence se fait de manière inadéquate ou peut même être totalement inexistante. Cette absence de variabilité sur le plan de la fréquence cardiaque peut engendrer des symptômes allant de la dyspnée à la syncope.

Le capteur d'asservissement de fréquence idéal devrait être en mesure de produire des fréquences stimulées proportionnelles à la demande du métabolisme, tout en ayant une vitesse de réponse similaire à celle du nœud sinusal. Le capteur idéal est à la fois spécifique et sensible: il permet une détection des changements réels de la demande métabolique sans être affecté par des facteurs externes, et est sensible aux changements de la demande métabolique reliée autant au stress physique que mental [1].

Les principaux capteurs présentement utilisés dans les stimulateurs cardiaques sont des capteurs basés sur le mouvement du patient



Figure 1 : Le CLS s'intègre à la boucle du système cardiovasculaire.

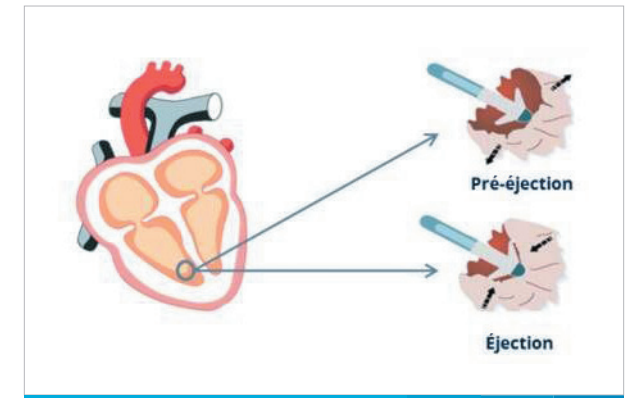


Figure 2 : Impédance et contractilité cardiaque.

(accéléromètre), sur des mesures d'impédance thoracique (la minute ventilation) ou sur des mesures d'impédance ventriculaire (stimulation en boucle fermée). Nous nous attarderons ici à la stimulation en boucle fermée connue sous le nom de CLS (algorithme développé par et exclusif à Biotronik SE & Co. KG). L'asservissement de fréquence par stimulation en boucle fermée permet une intégration du stimulateur cardiaque au système cardiovasculaire. Le stimulateur cardiaque convertit ainsi les informations provenant du système nerveux autonome (SNA) en une fréquence cardiaque optimale. Ceci permet non seulement de répondre à une augmentation de la demande métabolique engendrée par l'activité physique, mais également de répondre à l'augmentation de la demande métabolique engendrée par des changements liés à l'activité mentale tels que le stress ou l'anxiété.

La stimulation en boucle fermée s'effectue grâce à un algorithme capable de mesurer la dynamique de contractilité myocardique. Puisque cette dernière est contrôlée par les mêmes mécanismes nerveux que le nœud sinusal, il est donc possible de moduler la fréquence cardiaque à partir des

changements quantifiés au niveau de la contractilité du myocarde.

La fréquence cardiaque, la contractilité et le tonus vasculaire sont tous régis par le système nerveux autonome (SNA). Ce dernier contrôle la fonction cardiaque en régularisant ces trois composantes. Ainsi, une dysfonction de l'une de ces composantes provoquera une stimulation plus importante au niveau des autres.

Lorsque le système cardiovasculaire fonctionne de manière optimale, une diminution du débit cardiaque provoque, par le biais du système nerveux autonome (SNA), une augmentation de la contraction et de la fréquence cardiaque afin de répondre à la demande métabolique. (Figure 1)

Cependant, si le patient souffre d'incapacité chronotrope, sa fréquence cardiaque ne peut s'élever de manière appropriée et force la contractilité à augmenter afin de compenser cette dysfonction sinusale. Malheureusement, ceci ne permet pas d'obtenir une augmentation du débit cardiaque aussi importante que lorsque la fréquence est également augmentée. Le stimulateur cardiaque peut donc intervenir en augmentant la fréquence cardiaque selon les besoins hémodynamiques déterminés par le capteur de fréquence.

**Comment la stimulation en boucle fermée fonctionne-t-elle ?**

La fonction de base de la stimulation en boucle fermée (CLS) est de traduire les changements au niveau de la contractilité myocardique en une fréquence cardiaque correspondante. Pour ce faire, le CLS mesure l'impédance intracardiaque à chaque contraction ventriculaire puisque celle-ci traduit les changements au niveau de la contractilité. Rappelons que l'impédance correspond à l'opposition au passage du courant que le sang. Ainsi, lorsque la contractilité est plus vigoureuse, une plus grande proportion du myocarde se retrouve autour de la sonde et l'impédance est plus élevée. En somme, les changements au niveau de l'impédance traduisent les changements au niveau de la contractilité. (Figure 2)

Pendant la phase de repos, identifiée par une absence de mouvement au niveau de l'accéléromètre (capteur de mouvement), des impulsions à faible intensité effectuées entre l'extrémité de la sonde ventriculaire droite et le boîtier permettront de mesurer des valeurs d'impédance unipolaire, et

1 – Incapacité d'augmenter la fréquence cardiaque à 85 % de la fréquence maximale prédite en fonction de l'âge.



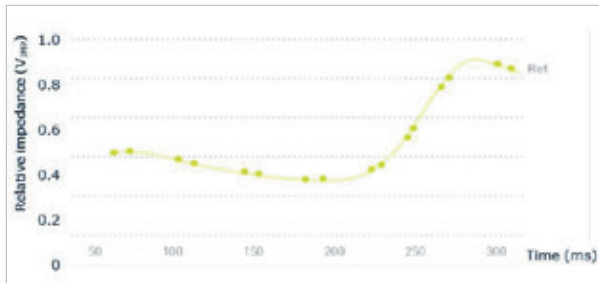


Figure 3 : Courbe de référence.

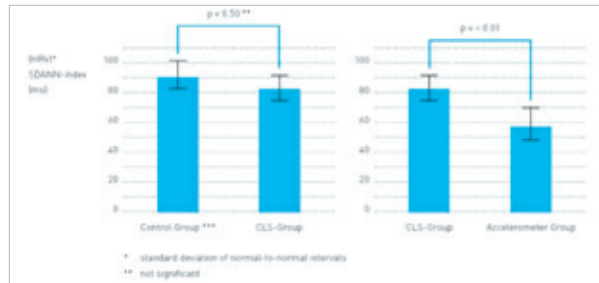


Figure 5 : Comparaison de la variabilité des fréquences.

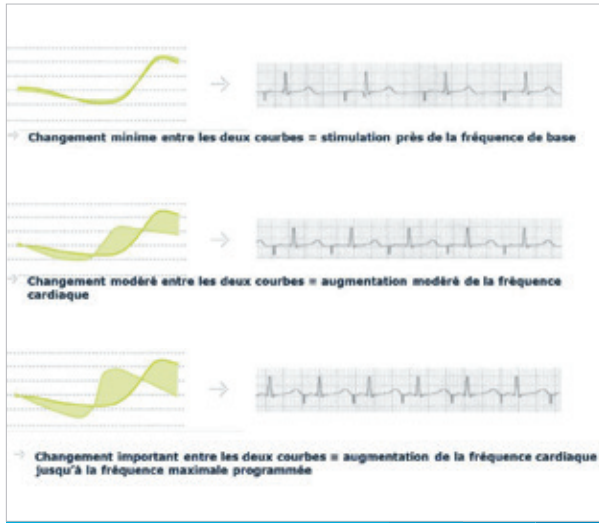


Figure 4 : Augmentation de la fréquence en fonction de l'aire différentielle.

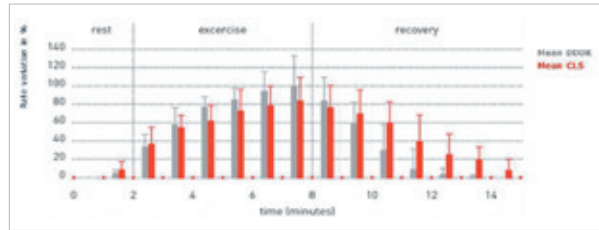


Figure 6a : Variabilité des fréquences lors d'activité physique.

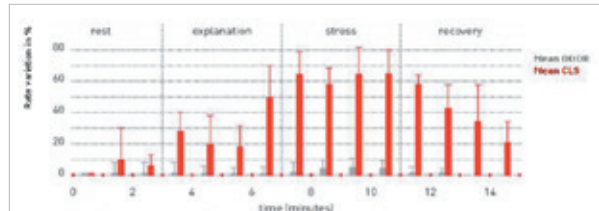


Figure 6b : Variabilité des fréquences lors d'activité mentale.

**Remodelage symétrique**

A Cœur normal  
B Hypertrophie concentrique  
C Hypertrophie avec dilatation

**Remodelage ventriculaire après infarctus du myocarde**

D Infarctus  
E Extension rapide de l'infarctus  
F Remodelage ventriculaire final

Figure 7 : Remodelage ventriculaire.

d'établir par celles-ci une courbe de référence représentant la moyenne des 256 dernières courbes pour les événements stimulés et pour les événements détectés. Cette courbe, actualisée en permanence, reflète donc la dynamique de contraction au repos. (Figure 3)

Ensuite, pour chaque battement cardiaque, le CLS compare la courbe actuelle avec la courbe de référence. L'ajustement de la fréquence se fait selon l'aire différentielle entre les deux courbes. Donc, plus l'aire différentielle est grande, plus la fréquence est augmentée. (Figure 4)

Cette réponse aux variations de la contractilité cardiaque battement par battement, ainsi que l'intégration de cet algorithme à la boucle du système cardiovasculaire permettent au CLS de reproduire le comportement

**Plus de 70% des patients souffrant d'insuffisance cardiaque souffrent également d'incompétence chronotrope.**

du nœud sinusal sain. Les fonctions du nœud sinusal étant :

- l'augmentation de la fréquence cardiaque à l'effort: physiologique et proportionnelle;
- la réponse émotionnelle;
- la variabilité R-R et P-P;
- la variabilité diurne;
- la variabilité nocturne;
- la réponse compensatrice (suite à une baisse de la tension artérielle).

Beliaev et al. [2] ont d'ailleurs démontré que le CLS permet d'obtenir une variabilité de fréquence similaire à celle observée chez le sujet sain. (Figure 5) Les Figures 6a et 6b

offrent une comparaison de la variabilité des fréquences cardiaques obtenues avec le CLS et celles obtenues avec un asservissement de fréquence par accéléromètre. Il est important de noter que le CLS permet également une baisse graduelle de la fréquence sur la base de la réduction de la contractilité du myocarde et permet, par le fait même, une récupération similaire à celle d'un patient avec une chronotropie adéquate.

**CLS et insuffisance cardiaque**

Plus de 70% des patients souffrant d'insuffisance cardiaque souffrent également d'incompétence chronotrope [3], et, certaines études [4] ont démontré qu'une régularisation de la fréquence cardiaque chez ces patients pourrait non seulement améliorer la classe fonctionnelle (NYHA<sup>2</sup>), mais aussi la fraction

d'éjection. La stimulation en boucle fermée, maintenant disponible dans certains systèmes de resynchronisation cardiaque (stimulateurs et défibrillateurs biventriculaires), semble prometteuse pour ces patients puisqu'elle s'intègre dans la boucle cardiovasculaire et permet une variabilité de fréquence similaire à celle produite par un nœud sinusal sain.

Une faible variabilité cardiaque (HRV) est un prédicteur d'augmentation de :

1. la morbidité;
2. la mortalité;
3. du risque de mort subite.

De plus, puisque les courbes de références sont constamment mises à jour en phase de repos, elles permettent d'obtenir une représentation très précise de la condition actuelle du patient. En fait, le CLS s'ajuste de manière

automatique aux changements de condition du patient, qu'il s'agisse d'un changement de médication ou d'un remodelage ventriculaire. (Figure 7) Ceci est particulièrement important chez les patients avec insuffisance cardiaque, puisque leur condition peut être très variable étant donné le rôle prédominant des médicaments dans le traitement de cette pathologie.

**Le CLS et la syncope vasovagale**

Le CLS s'est également avéré très efficace chez les patients souffrants de syncope vasovagale avec réponse cardioinhibitrice. Dans ce type de syncope, une augmentation de la contractilité myocardique engendrant une augmentation du tonus vagal précède la chute de la fréquence cardiaque. Ce changement au niveau de la contractilité

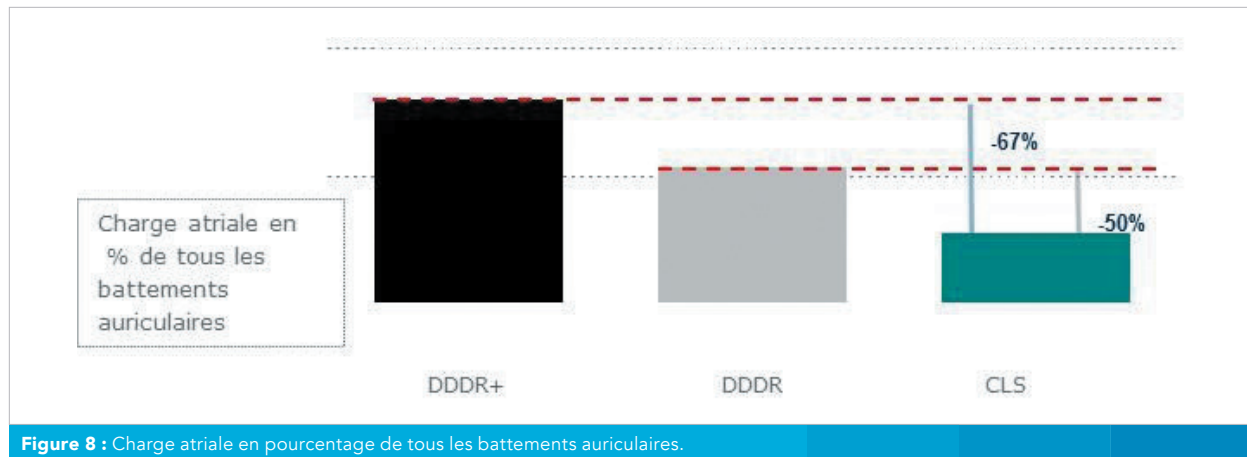


Figure 8 : Charge atriale en pourcentage de tous les battements auriculaires.

est détecté par le CLS qui augmentera la fréquence cardiaque par stimulation, et ainsi diminuera l'augmentation du tonus vagal afin de prévenir l'hypotension artérielle, la bradycardie et la syncope.

#### Mécanisme de la syncope vasovagale

Certains réflexes autonomes sont présents chez l'humain afin de maintenir une perfusion cérébrale adéquate. Des barorécepteurs situés dans les sinus carotidiens, au niveau de la crosse de l'aorte, ainsi que des mécanorécepteurs situés dans la paroi du ventricule gauche contribuent à maintenir cette perfusion.

En temps normal, lors d'une diminution du retour veineux, la stimulation au niveau des barorécepteurs situés au niveau de la crosse de l'aorte et dans les sinus carotidiens est diminuée, ce qui provoque une stimulation du système sympathique qui engendre une vasoconstriction et une augmentation de la résistance périphérique. La stimulation des mécanorécepteurs au niveau de la paroi du ventricule gauche est également diminuée. Cela a pour effet d'entraîner d'abord une augmentation de la fréquence et de la contractilité cardiaques qui résulte en

l'augmentation du débit cardiaque. L'augmentation simultanée de la résistance périphérique et du débit cardiaque permet le retour à une pression artérielle adéquate et au rétablissement de l'homéostasie.

Chez les patients présentant des syncopes vasovagales avec une composante cardioinhibitrice, une contraction excessive du ventricule gauche est observée à la suite d'une baisse du retour veineux. Puisque les mécanorécepteurs situés au niveau du ventricule gauche seraient influencés par un étirement, mais aussi par une contraction cardiaque vigoureuse, cette réponse excessive contribuerait à la perte d'homéostasie.

En fait, dans cette situation, les signaux afférents provenant des mécanorécepteurs du ventricule gauche priment sur les signaux des barorécepteurs, ce qui provoque une baisse inappropriée du tonus sympathique et une augmentation du tonus parasympathique (tonus vagal). Cliniquement, cela se traduit par une hypotension soudaine, soit une diminution de la vasoconstriction accompagnée d'une bradycardie inappropriée induite par l'augmentation du tonus vagal.

Comme mentionné précédemment, le CLS s'intègre dans la boucle cardiovasculaire et ajuste la fréquence de stimulation à

partir de données qui proviennent directement du système nerveux autonome. Lorsque le débit cardiaque diminue, la contractilité myocardique, elle, augmente, ce qui se traduit par un changement d'impédance au niveau de la sonde ventriculaire et par une augmentation de la fréquence de stimulation proportionnelle au changement de la contractilité.

L'étude SPAIN [5] avait comme objectif l'évaluation de l'efficacité de la stimulation double chambre avec CLS chez les patients souffrants de syncope vasovagale avec réponse cardioinhibitrice.

Cette étude randomisée avec contrôle placebo a été effectuée dans 11 centres (10 en Espagne, 1 au Canada) chez des patients âgés de plus de 40 ans avec une charge syncopale élevée (≥ de 5 épisodes dont ≥ 2 dans la dernière année) ainsi qu'une réponse cardioinhibitrice à la table basculante (bradycardie inférieure à 40 bpm pour plus de 10 secondes ou asystolie de plus de 3 secondes).

La proportion de patients avec une réduction de ≥ 50% des épisodes de syncope était de 72% avec la programmation DDD-CLS comparativement à 28% dans le groupe avec stimulation DDI (placebo), et le temps de récurrence jusqu'à la première syncope était

significativement différent entre les deux groupes: 29,2 mois pour le groupe CLS, et 9,3 mois pour le groupe placebo.

#### CLS et fibrillation auriculaire

La stimulation en boucle fermée a également démontré une diminution des épisodes de fibrillation auriculaire paroxystique (FAP) d'une durée de plus de 5 minutes et de moins de 24 heures. Cet effet positif du CLS sur la quantité d'épisodes de FAP pourrait s'expliquer par une variation au niveau du système nerveux autonome dans les instants qui précèdent l'arythmie. Une augmentation du système sympathique une dizaine de minutes avant le début de l'arythmie suivie par un changement abrupt avec prédominance vagale a été observée par Bettoni et al. [6] ainsi que par Huang et al. [7]. Puisque

la contractilité myocardique augmente un peu avant l'installation de cette arythmie, la stimulation auriculaire s'active, prend le contrôle du nœud sinusal et réduit les épisodes de courte durée.

Selon Puglisi et al., l'étude Burden II [8] a démontré une charge atriale plus faible avec une programmation en mode CLS qu'avec une programmation en mode DDDR (accéléromètre) ou qu'avec un entraînement auriculaire rapide (DDDR+). (Figure 8) De plus, lorsque programmé en mode CLS, il y a réduction des extrasystoles auriculaires, ce qui permet une meilleure modulation de la fréquence cardiaque.

#### Conclusion

On dénombre déjà plusieurs études démontrant qu'en tant que senseur intégré au système

cardiovasculaire, le CLS permet une réduction des épisodes de syncopes vasovagales. Ses mesures précises mènent à l'obtention d'une variabilité des fréquences cardiaques similaire à celle de patients avec une fonction sinusale normale, et ce, même en réponse à un stress mental. Son intégration récente aux appareils de resynchronisation cardiaque nous permettra maintenant d'établir son utilité pour les patients en insuffisance cardiaque chez qui une variabilité des fréquences est plus qu'importante étant donné les effets délétères d'une diminution de cette dernière. Il sera également intéressant de suivre l'apport du CLS chez un groupe de patients ayant une activité physique plus restreinte, groupe de patients chez qui un senseur basé sur le mouvement ne permet pas toujours d'obtenir une variabilité de fréquence intéressante.

#### RÉFÉRENCES

David L. Hayes, Samuel J. Asirvatham, Paul A. Friedman, *Cardiac Pacing, Defibrillation and Resynchronization A clinical Approach*, Third Edition, 2013, P 408-425  
Kenneth A. Ellenbogen, Karoly Kaszala, *Cardiac Pacing and ICDs*, 6th Edition, 2014, P73-79

#### NOTES

1 – David L. Hayes, Samuel J. Asirvatham, Paul A. Friedman, *Cardiac Pacing, Defibrillation and Resynchronization A clinical Approach*, Third Edition, 2013, P 409  
2 – Beliaev O.V. et al., *Heart rate variability over 24 hours closed loop stimulation and motion-sensor pacemakers compared with healthy control group*. Progress in Biomedical Research (4), 1999  
3 – Ulrich P. Jorde, Timothy J. Vittorio and Al., *Chronotropic incompetence, beta-blockers, and functional capacity in advanced congestive heart failure: Time to pace?* European Journal of Heart Failure 10 (2008)96-101  
4 – Ulrich P. Jorde et al., *Rate responsive pacing using cardiac resynchronization therapy in patients with chronotropic incompetence and chronic heart failure*. Europace (2011) 13, 1459-1463

4 – Bernard R. Chaitman, *Abnormal Heart Rate Responses to Exercise Predict Increased Long-Term Mortality Regardless of Coronary Disease Extent. The Question Is Why?* Bernard R. Chaitman, MD, FACC. Journal of the American College of Cardiology Vol. 42, No. 5, 2003  
4 – Bailey et al., HRS 2005; Abstract P5-98

5 – Gonzalo Baron-Esquivas, MD, PHD et Al., *Dual-Chamber Pacing With Closed Loop Stimulation in Recurrent Reflex Vasovagal Syncope: The SPAIN Study*. Journal of the American college of cardiology Vol. 70, No. 14, 2017

6 – Bettoni M, Zimmermann M. *Autonomic tone variation before the onset of paroxysmal atrial fibrillation*. Circulation 2002; **105:2753-9**.

7 – Huang JL, Wen ZC, Lee WL et al. *Changes of autonomic tone before the onset of paroxysmal atrial fibrillation*. International J Cardiol 1998; **66:275-83**.

8 – A. Puglisi et al., *Overdrive versus conventional or closed-loop rate modulation pacing in the prevention of atrial tachyarrhythmias in Brady-Tachy syndrome: on behalf of the Burden II Study Group*. Pacing Clin Electrophysiol. 2008 Nov; 31(11):1443-55.

#### FIGURES

1 – Biotronik SE & Co. KG, *Stimulation en boucle fermée*, Guide pratique. Cardiac Rhythm Management//CLS P4,  
2, 3, 4 et 8 – Biotronik SE & Co. KG.  
5 – Beliaev O.V. et al., *Heart rate variability over 24 hours closed loop stimulation and motion-sensor pacemakers compared with healthy control group*. Progress in Biomedical Research (4), 1999  
6a et 6 b – Zecchi P. et al., *Closed loop stimulation vs. Conventional DDDR pacing:benefits of hemodynamic pacing*. Progress in Biomedical Research 2000.  
7 – Virginie Monceau, Emmanuel Camors, Danièle Charlemagne. *Physiopathologie du remodelage ventriculaire*. MT Cardio. 2006;2(3):273-279 d'après Jessup M, Brozena S. Heart failure. N Engl J Med 2003; 348: 2007-18.

#### REMERCIEMENTS

Mélanie Dupuis, t.e.p.m., Hôpital du Haut-Richelieu





# L'électroconvulsivothérapie

**L'électroconvulsivothérapie (ECT) est un traitement utilisé en psychiatrie depuis 1938. Elle est reconnue pour être efficace pour plusieurs troubles mentaux et certaines conditions médicales graves.**

Ce texte a été reproduit avec l'autorisation de

Dr Simon Patry,  
directeur

Dre Morgane Lemasson  
coordinatrice

Centre d'excellence en électroconvulsivothérapie du Québec (CEECTQ)

Cet article présente la nature, le but et le déroulement de l'électroconvulsivothérapie (ECT) ainsi que ses effets bénéfiques, ses effets indésirables et les risques associés.

**Selon les études, l'ECT provoquerait dans le cerveau les mêmes changements que les antidépresseurs, mais de façon plus rapide.**

## Qu'est-ce que le traitement par ECT ?

L'ECT, aussi appelée sismothérapie, électroconvulsivothérapie, thérapie électroconvulsivante ou électrochocs, est un traitement médical reconnu pour être efficace pour plusieurs troubles mentaux et certaines conditions médicales graves. Après une anesthésie générale, un courant électrique est envoyé pendant quelques secondes au niveau de la tête avec des électrodes. Ce courant produit une convulsion de courte durée dans le cerveau, mais ne cause aucune douleur.

## Comment l'ECT fonctionne-t-elle ?

Selon les études, l'ECT provoquerait dans le cerveau les mêmes changements que les antidépresseurs, mais de façon plus rapide. Le fonctionnement de l'ECT n'est pas encore complètement compris et fait toujours l'objet de recherches scientifiques.

## Qui sont ceux qui reçoivent l'ECT ?

Le médecin fait d'abord une évaluation complète des avantages et des inconvénients de cette thérapie pour l'utilisateur en comparaison avec les autres traitements disponibles. Aujourd'hui, l'ECT est surtout administrée aux personnes souffrant de dépression majeure sévère, de certaines formes de trouble bipolaire, de catatonie ou de schizophrénie, lorsque ces conditions sont résistantes (réfractaires) aux traitements habituels (ex. : médicaments et psychothérapie). L'ECT est utilisée lorsque :

- les traitements habituels ont échoué;
- les traitements habituels ne sont pas tolérés ou sont contre-indiqués;
- la vie de l'utilisateur est menacée à court terme et une intervention est nécessaire pour obtenir une amélioration rapide de son état;
- l'utilisateur a une condition médicale pour laquelle l'ECT est efficace;
- l'utilisateur a bien répondu à l'ECT dans le passé et il préfère ce traitement.

**La médication et la psychothérapie ne suffisent pas toujours pour améliorer l'état de santé de certains usagers. La documentation scientifique rapporte que près de 30 à 40 % d'entre eux sont résistants aux médicaments.**

## ERRATUM | ÉCHOX – SEPTEMBRE-OCTOBRE 2018

### *Les femmes et les maladies du cœur*

Nous nous excusons auprès de l'auteure et des lecteurs de la façon dont été présentées certaines figures de l'article *Les femmes et la maladie cardiaque*, écrit par Geneviève Tétrault Lefebvre, t.e.p.m., paru dans l'édition de septembre-octobre 2018 de l'ÉchoX.

Le tout a été corrigé et l'article révisé est disponible en version électronique dans la section *Documentation* du site Web de l'Ordre.

## L'enregistrement numérique au bout des doigts



**trophon2** Tout simplement plus intelligent  
Désinfection de Haut Niveau des sondes d'échographie

### La plus récente innovation en matière de désinfection de haut niveau pour les sondes à ultrasons.

Possède une conception améliorée, des flux de travail simples et rapides, ainsi que le tout nouveau AcuTrace™ pour la conservation des enregistrements numériques et l'intégration transparente avec le système informatique de votre hôpital.

Pour plus de renseignements, veuillez consulter [www.nanosonics.us](http://www.nanosonics.us) ou [www.trophon.com/ca](http://www.trophon.com/ca) ou composez le 1-844-TROPHON (1-844-876-7466)



### Pourquoi ne remplace-t-on pas l'ECT par la médication ou la psychothérapie ?

La médication et la psychothérapie ne suffisent pas toujours pour améliorer l'état de santé de certains usagers. La documentation scientifique rapporte que près de 30 à 40% d'entre eux sont résistants aux médicaments. Selon l'Association américaine de psychiatrie, 50 à 60% des individus souffrant de dépression majeure sévère obtiennent une amélioration marquée quand l'ECT est utilisée après l'échec d'un ou de plusieurs essais d'antidépresseurs. Cette thérapie semble donc être un traitement efficace pour les personnes résistantes aux médicaments et qui suivent ou non une psychothérapie.

L'ECT soulage rapidement les symptômes et est particulièrement indiquée pour une personne présentant une maladie pouvant mettre sa vie en danger.

### Comment l'ECT est-elle administrée ?

L'ECT est souvent administrée le matin, et ce, jusqu'à trois fois par semaine.

**Avant le premier traitement et au besoin par la suite**, la condition générale de l'utilisateur est évaluée au cours d'une consultation (ex. : médecin-psychiatre et anesthésiologiste), par un examen physique et des tests de laboratoire. Toute condition médicale particulière est surveillée de très près.

**La veille de l'ECT**, la médication habituelle pourra être modifiée par le médecin.

#### Le jour de l'ECT,

- En raison de l'anesthésie générale, l'utilisateur doit être à jeun environ huit heures avant l'ECT. Cependant, si le médecin l'autorise, certains médicaments peuvent être pris avec un peu d'eau. Des consignes supplémentaires pourront être appliquées au besoin (ex. : ne pas fumer, ne pas boire d'alcool, appliquer des règles d'hygiène particulières, retirer les prothèses dentaires).
- Dans la salle de traitement, un soluté intraveineux est installé (ex. : anesthésiant et relaxant musculaire). Plusieurs appareils de surveillance sont utilisés. Des capteurs sur la tête enregistrent l'activité électrique du cerveau (électroencéphalogramme [EEG]), des capteurs sur la poitrine mesurent l'activité électrique du cœur (électrocardiogramme [ECG]) et un appareil à tension artérielle est installé autour du bras pour mesurer la pression artérielle. (Figure 1) D'autres capteurs sont également utilisés pour enregistrer le niveau d'oxygène dans le sang et l'activité électrique des muscles (électromyogramme, EMG). Dans certains milieux de soins, un brassard est gonflé autour de la cheville et/ou du bras avant l'administration du relaxant musculaire

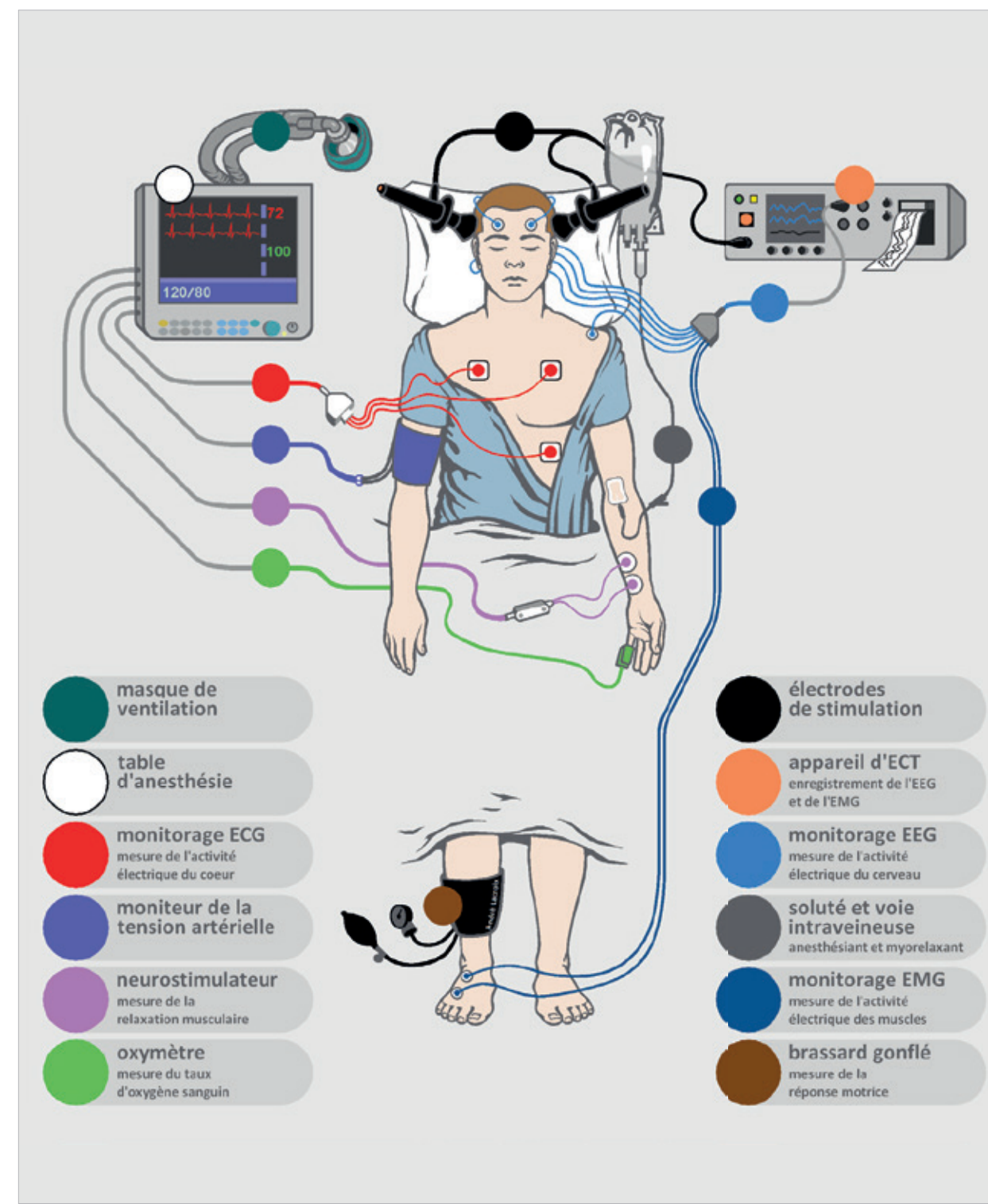


Figure 1 : Déroulement de la séance d'ECT.



l'empêchant d'atteindre l'extrémité du membre isolé. Ce procédé permet de vérifier les mouvements pendant la convulsion et d'en mesurer, en même temps que l'EEG, sa durée.

- L'usager est alors endormi, pour une période de 5 à 10 minutes, grâce à un médicament anesthésiant injecté par le soluté intraveineux. Un relaxant musculaire est ensuite administré pour détendre les muscles et diminuer les mouvements.
- L'ECT est commencée quand l'usager est complètement endormi et que ses muscles sont détendus. Un courant bref est alors envoyé pendant quelques secondes par les électrodes provoquant la convulsion.
- Durant toute la procédure, l'usager reçoit de l'oxygène.
- À la fin du traitement, l'usager se réveille sous la supervision de l'équipe médicale.
- La durée totale d'une séance d'ECT, incluant la préparation, l'intervention et la surveillance requise, peut durer jusqu'à deux heures selon les milieux de soins.

**Après toutes les séances,** en raison de l'anesthésie, l'usager ne devra pas conduire et devra être accompagné au moment de son départ.

### Où sont placées les électrodes de stimulation sur la tête ?

La stimulation électrique se fait par un courant soigneusement contrôlé. Les recherches scientifiques démontrent que l'efficacité de l'ECT et l'importance des effets indésirables dépendent à la fois du positionnement des électrodes de stimulation et de l'intensité du courant électrique.

Il existe plusieurs techniques de stimulation (**Figure 2**):

- ECT-unilatérale: la stimulation électrique est réalisée avec une électrode placée sur la tempe, une autre sur le sommet de la tête.
- ECT-bifrontale: la stimulation électrique est réalisée avec deux électrodes placées sur le front.
- ECT-bitemporale: la stimulation électrique est réalisée avec deux électrodes placées sur les tempes droite et gauche.

L'emplacement des électrodes est choisi par le médecin, selon la gravité des symptômes et les effets indésirables potentiels. Dans l'état actuel des connaissances, la stimulation bitemporale semble donner des résultats plus rapides, mais elle cause davantage d'effets indésirables (décrits plus loin). Les ECT bifrontale et unilatérale seront donc à privilégier dans un premier temps. En cas d'inefficacité de ces deux techniques de stimulation, l'ECT bitemporale doit être envisagée.

### Qui administre l'ECT ?

Une équipe de professionnels spécialisés en ECT est requise. L'équipe se compose généralement d'un psychiatre, d'un anesthésiologiste, d'une infirmière et, selon le milieu de soins, d'un technologue en électrophysiologie médicale et d'un inhalothérapeute.

### Combien de séances sont nécessaires ?

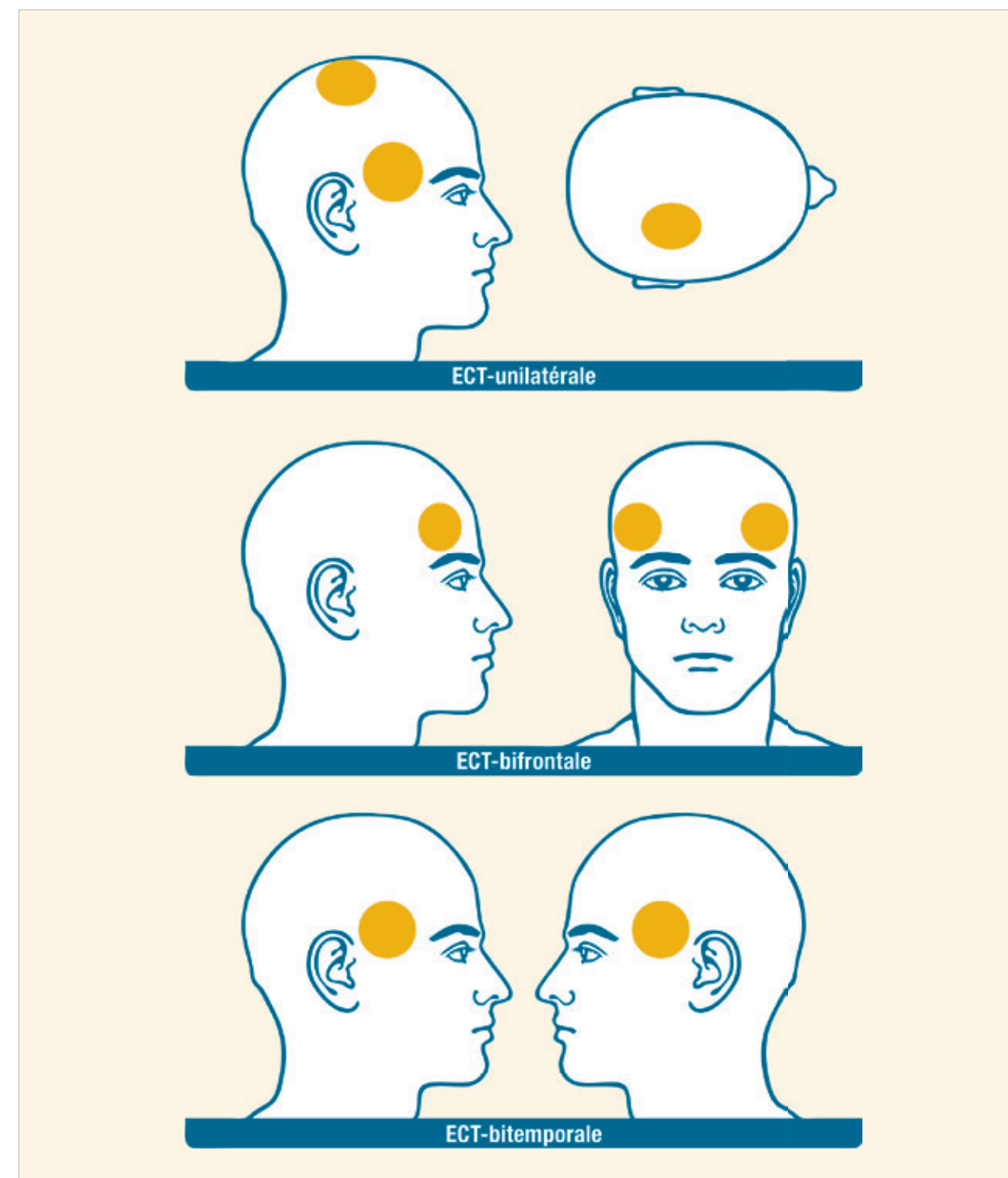
Une réponse au traitement est habituellement obtenue après une série de 6 à 12 ECT en moyenne, à raison de 2 à 3 séances par semaine.

Toutefois, le nombre de séances nécessaires pour obtenir une amélioration clinique optimale peut varier d'un usager à l'autre en raison de la sévérité de sa maladie. C'est pourquoi la condition médicale de l'usager est évaluée périodiquement par son médecin tout au long du traitement par ECT.

### L'ECT guérit-elle l'usager ?

L'ECT est efficace pour traiter les symptômes associés à certains troubles psychiatriques, surtout la dépression majeure. Le niveau d'efficacité varie selon les personnes, la nature de la maladie et sa sévérité. Comme pour plusieurs traitements médicaux, la plupart des usagers répondent rapidement à l'ECT; certains voient leur état s'améliorer, mais rechutent après un certain temps et ont besoin alors d'autres séances; enfin, quelques-uns ne voient pas d'amélioration.

Des séances additionnelles (séances d'ECT d'entretien associées ou non à des médicaments et/ou de la psychothérapie) sont parfois nécessaires afin de maintenir l'amélioration de la condition médicale. Ces séances d'entretien sont espacées graduellement d'une séance par semaine à des séances espacées de plusieurs semaines.



**Figure 2 :** Positionnement des électrodes de stimulation lors de l'ECT-unilatérale, ECT-bifrontale et ECT-bitemporale.



## Quelles sont les contre-indications ?

Selon l'Association américaine de psychiatrie, il n'existe aucune contre-indication absolue à l'ECT. Cependant, certaines conditions peuvent présenter plus de risques, par exemple, si l'usager a :

- des conditions neurologiques particulières (ex. : hypertension intracrânienne);
- certaines maladies cardiaques (ex. : infarctus du myocarde récent);
- des allergies (ex. : médicaments pour l'anesthésie).

À cause de ces conditions, la décision de recourir à cette thérapie se prend après un examen physique complet. L'ECT est administrée dans une salle de traitement équipée pour répondre à tous les problèmes éventuels.

## L'ECT est-elle dangereuse pour l'usager ?

Toute intervention médicale peut présenter, parallèlement aux avantages, certains inconvénients.

Les accidents et les complications médicales (complication dentaire et rythme irrégulier du cœur) liées à l'ECT sont très rares. Il en est de même des risques liés à l'anesthésie générale. Les études ont démontré que le risque de décès associé à l'ECT est très faible et qu'il serait comparable aux interventions chirurgicales mineures sous anesthésie générale.

## Est-ce que l'ECT cause des dommages au cerveau ?

Aucune étude n'a prouvé que l'administration d'ECT cause des dommages au cerveau. Au contraire, des données scientifiques tendent à démontrer que les dommages ne seraient pas reliés au traitement, mais plutôt à la maladie. Chez l'humain, les études n'ont révélé aucun changement dans la structure et la composition du cerveau après l'ECT. Chez l'animal, les études n'ont apporté aucune preuve de lésions au cerveau liées aux convulsions brèves (de quelques secondes) comme celles utilisées dans l'ECT. Seule une convulsion de plusieurs heures endommagerait le cerveau.

## Quels sont les effets indésirables les plus fréquents avec l'ECT ?

Il est fréquent et normal que l'usager soit confus et désorienté au réveil: ceci est dû à la fois à l'anesthésie et à l'ECT. Habituellement, cette confusion disparaît rapidement. Certaines personnes souffrent de maux de tête, de courbatures ou de raideurs musculaires après l'intervention. Ces problèmes disparaissent dans la journée, la plupart du temps avec la prise de médicaments (ex. : acétaminophène). Les nausées sont rares et ne durent que quelques heures. Les troubles de mémoire sont les effets indésirables qui suscitent le plus d'attention: ils sont de deux types. Le premier est une perte de mémoire, dite antérograde, se

manifestant par l'oubli d'informations récemment acquises comme les conversations ou les lectures faites quelques jours ou heures avant ou après la séance d'ECT. Le deuxième type de perte de mémoire, dite rétrograde, concerne certains événements du passé. Les données scientifiques semblent démontrer que ces troubles durent entre quelques jours et quelques mois. Dans de rares cas, certains souvenirs peuvent être définitivement effacés. Les troubles de mémoire sont reliés au nombre de séances, au positionnement des électrodes de stimulation et à certains troubles mentaux eux-mêmes.

## Quelles sont les alternatives à l'ECT ?

Lorsque les médicaments et la psychothérapie ne fonctionnent pas, il existe certaines solutions alternatives à l'ECT, mais leur efficacité est encore à l'étude.

## Le consentement à l'ECT est-il obligatoire ?

Oui. Avant de recevoir le traitement, l'usager (ou son représentant) doit donner son consentement écrit pour autoriser l'ECT et l'anesthésie générale requise en signant un formulaire de consentement. Le consentement doit être **libre** et **éclairé**. Il est souhaitable que l'usager soit accompagné par un proche ou toute personne pouvant l'aider à prendre une décision. Pour que son consentement à l'ECT soit valide, l'usager doit être jugé apte

à consentir. Dans le cas contraire, le consentement est obtenu d'une personne autorisée par la loi (référer à l'article 11 et suivants du Code civil du Québec). À tout moment, l'usager (ou son représentant) peut retirer son consentement verbalement et son traitement cessera immédiatement.

## En conclusion

L'ECT est un traitement efficace indiqué pour certains troubles psychiatriques réfractaires et certaines conditions médicales graves.

Pour plus d'informations, trois livres sont conseillés. Les auteurs des deux premiers livres en anglais sont deux psychologues opposés à l'ECT. Souffrant eux-mêmes de dépression, ils ont finalement été soignés par ECT. Décrivant leur maladie et les traitements reçus, les auteurs partagent leur expérience de l'ECT avec les lecteurs.

- **Holiday of Darkness**, par Norman S. Elder, Wiley-Interscience, New-York, 1982
- **Undercurrents: a therapist's reckoning with depression**, par Martha Manning, Harper, San Francisco, 1995
- **L'électroconvulsivothérapie. De l'histoire à la pratique clinique: Principes et applications**, par David Szekely et Emmanuel Poulet, collection Psychopathologie, 2012

D'autres rapports sur l'ECT sont disponibles en français et en anglais:

- **L'utilisation des électrochocs au Québec**, par l'Agence d'évaluation des technologies et des modes d'interventions en santé, 2002
- **The practice of electroconvulsive therapy**, par l'Association américaine de psychiatrie, 2001

Pour plus d'information et visionner des vidéos, visitez le site du Centre d'excellence en électroconvulsivothérapie du Québec: [www.ceectq.ca](http://www.ceectq.ca) et celui de l'Enquête canadienne sur les électrochocs: [www.canectq.org/patients.php](http://www.canectq.org/patients.php).

## REMERCIEMENTS

Ce document a été rédigé grâce à la collaboration des Instituts universitaires en santé mentale de Québec, de Montréal, du Douglas ainsi que de l'hôpital Charles LeMoine, notamment les patients partenaires, l'unité d'évaluation de technologies et modes d'intervention en santé, le département de développement des pratiques cliniques et les services d'ECT. Son contenu s'inspire de plusieurs sources, dont le guide de l'Association américaine de psychiatrie. Les illustrations ont été réalisées par André Lacroix, technologue en électrophysiologie à l'Institut universitaire en santé mentale de Québec.

## UN MERCI TOUT SPÉCIAL :

- aux usagers
- aux proches et aux familles
- au personnel de différents établissements de santé du Québec
- au personnel des Affaires juridiques des instituts et hôpitaux cités précédemment
- aux patients partenaires et aux pairs aidants
- aux organismes communautaires et à but non lucratif
- à l'Ordre des infirmières et infirmiers du Québec (OIIQ)
- au ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS)
- à la Fédération des familles et amis de la personne atteinte de maladie mentale (FFAPAMM)
- au Curateur public du Québec
- au Collège des médecins du Québec (CMQ)
- aux chercheurs en santé mentale et en éthique
- à l'Association québécoise de soutien aux personnes souffrant de troubles anxieux, dépressifs ou bipolaires (REVIVRE)
- à l'Association québécoise d'établissements de santé et de services sociaux (AQESSS)
- à l'Association des médecins psychiatres du Québec (AMPQ)
- à l'Association des conseils de médecins, dentistes et pharmaciens du Québec (ACMDP)
- à l'Association des anesthésiologistes du Québec (AAQ)





# Thérapies radioactives, révolution à venir!

**Bienvenue dans la révolution et l'avenir de la médecine nucléaire, l'imagerie moléculaire!**



Félix Déry,  
r.i.m.  
Hôtel-Dieu de Québec

Depuis quelques années, le CHU de Québec a mis à la disposition de la population un nouveau type de traitement pour les tumeurs neuroendocrines (TNE). Il s'agit d'une série d'injections d'octréotide marqué au Lutécium177 dans le but de faire régresser ou de limiter l'évolution des tumeurs neuroendocrines.

À la base, les cellules neuroendocrines sont des cellules nerveuses qui sécrètent des hormones selon les influx nerveux reçus. Par exemple, les cellules du pancréas sécrètent soit de l'insuline soit du glucagon selon le taux de sucre dans le sang. Dans le cas présent, nous nous intéresserons aux cellules neuroendocrines possédant des récepteurs à somatostatine.

On les retrouve principalement le long du tube digestif soit dans l'œsophage, l'estomac, le pancréas, le foie, l'intestin grêle et le côlon. Lorsque ces cellules subissent des mutations, elles peuvent générer des carcinomes neuroendocriniens qui seront composés de cellules anormales ne répondant plus aux influx nerveux qui régissaient leurs sécrétions hormonales ou leurs comportements.

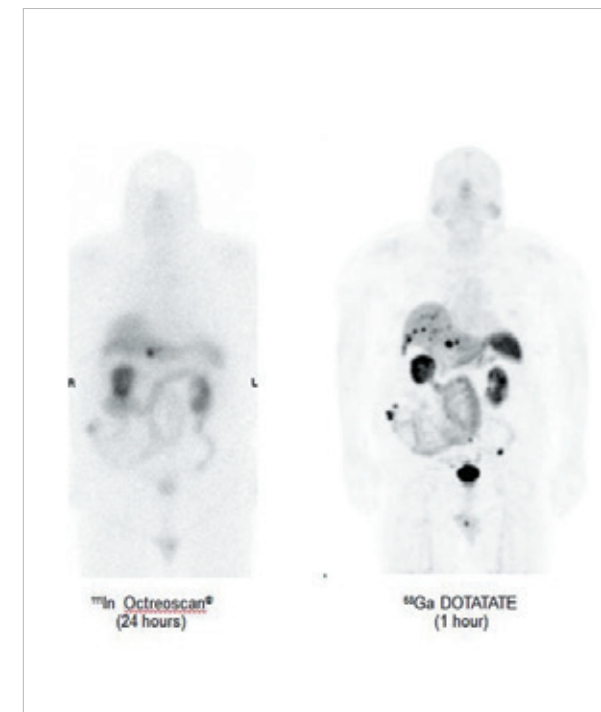
## Traitements conventionnels

Dans la liste des traitements des TNE, il y a la chirurgie durant laquelle le patient subira une résection chirurgicale de la tumeur et/ou des métastases ainsi qu'un curage ganglionnaire dans la région de la TNE pour éviter un envahissement métastatique à distance.

**Dans certains cas, les traitements conventionnels ne suffisent plus, on doit donc trouver une solution palliative.**

Le patient peut également s'injecter des doses d'octréotide (un puissant analogue de la somatostatine) pour ralentir l'évolution des lésions ou simplement pour diminuer les inconforts causés par les tumeurs qui sécrètent de grandes quantités d'hormones de façon constante et excessive.

La radiothérapie externe et la chimiothérapie peuvent également être utilisées pour ralentir la progression des TNE et de leurs métastases.



**Figure 1:** On peut voir le comparatif entre les deux études diagnostiques possibles. Sur l'image de gauche, il s'agit de la scintigraphie à l'indium-111 et sur l'image de droite, l'étude TEP au Ga68-Dota-tate d'un même patient.

Dans certains cas, les traitements conventionnels ne suffisent plus, on doit donc trouver une solution palliative afin d'améliorer la quantité et la qualité de vie des patients. La thérapie radioactive ciblée sera donc considérée. À l'Hôtel-Dieu de Québec, on procède à des injections d'octréotide (Dota-tate) marqué au Lutécium177 qui cibleront les cellules cancéreuses ayant un taux anormalement élevé de récepteurs à somatostatine.

## Comment déterminer si le patient est admissible à cette thérapie?

Avant de pouvoir procéder à cette thérapie, le patient devra subir un examen TEP au Ga68-Dota-tate disponible à quelques endroits au Québec. Sinon une scintigraphie à l'octréotide marqué à l'indium-111, communément appelé Octréoscan peut être faite dans la majorité des centres de médecine nucléaire.

Ces examens permettent d'évaluer si les TNE sont recouvertes d'une grande quantité de récepteurs à somatostatine. Si tel est le cas, on pourra procéder à la thérapie radioactive.

L'avantage de l'étude avec la modalité TEP sera d'avoir une meilleure résolution spatiale et une meilleure sensibilité de détection; on peut déceler les lésions de 3 mm et plus, tandis que l'Octréoscan en mode scintigraphique, lui, ne permet de voir que les lésions de 10 mm et plus.

## Pourquoi utiliser le Lutécium177?

Le Lu177 est un émetteur de bêta et de gamma, ce qui le rend pratique dans le domaine thérapeutique puisque les particules bêta de faibles énergies ioniseront fortement les cellules cancéreuses ciblées de façon à avoir un effet cytotoxique (létale) sur elles et les rayons gamma eux, nous permettront de faire des images des lésions des TNE et des métastases à l'aide d'un appareil SPECT-CT en modalité planaire (pancorporelle) et tomographique: tomoscintigraphie couplée avec une TDM faible dose pour fins de localisation et de correction d'atténuation.

Ce radio-isotope possède une demi-vie radioactive de 6,65 jours, ce qui lui confère une longue durée d'action sur les cellules visées.

Les particules bêta sont émises avec une énergie de 175 keV, 380 keV et 498 keV, tandis que les particules gammas sont émises avec une énergie de 113 keV et 208 keV.

La faible énergie d'émission des particules bêta leur confère un pouvoir de pénétration peu élevé d'environ 2 mm et moins. La thérapie sera donc vraiment concentrée sur les cellules anormales et touchera très peu de cellules saines à proximité des lésions.

Les énergies d'émissions gamma du Lu177 les rendent facilement détectables à l'aide d'une caméra à scintillation (SPECT) munie de collimateurs moyenne énergie. Les collimateurs de type moyenne énergie, à usage général (MEPG) seront recommandés puisqu'il y a presque deux fois plus de rayonnements émis à 208 keV (11% des émissions) que ceux émis à 113 keV (6% des émissions). On évitera également de faire apparaître le phénomène de pénétration septale que pourrait occasionner l'utilisation des collimateurs faible énergie, surtout dans les cas où il y aurait des zones accrues de fixations du Lu177-Dota-tate.



## Le radiopharmaceutique: Lu177-Dota-tate

Ce radio-peptide n'est pas reconnu actuellement par Santé Canada, nous devons donc effectuer sa synthèse sur place en centre hospitalier. Les manipulations pour effectuer la préparation des injections de Lu177-Dota-tate doivent respecter des normes d'asepsie élevées, soit les normes de bonne pratique de fabrication (GMP). Nous travaillons donc sous une hotte à flot laminaire lors de la synthèse et des prélèvements des doses individuelles afin de préserver au maximum la stérilité.

Le principe de marquage est simple, il s'agit d'une transchélation: une réaction chimique qui nécessite de la chaleur pour lier les molécules peptidiques et les atomes radioactifs. Ensuite, on ajuste la concentration finale de la solution de façon à ce que la plus grande dose à être administrée corresponde à un volume total de 6 ml.

Le mélange final est additionné de DTPA, un agent de filtration glomérulaire. Cet additif se liera aux atomes de Lu177 qui n'ont pas réagi lors de la transchélation pour faciliter l'élimination rénale de ce métal lourd, qui pourrait rester fixé dans les reins s'il était sous forme libre.

Des contrôles de qualité sont effectués sur le produit; on parle ici d'une chromatographie sur cartouches de type SEP-PAK ainsi qu'une chromatographie sur couche mince de silice. Nous évaluons ainsi la quantité d'impuretés présentes dans la préparation: possible présence de lutécium libre ou de lutécium réduit hydrolysé forme colloïdale causé par l'oxydation, observable dans la famille isotopique des radio-métaux.

Un maximum de 3% d'impureté sera toléré, ce qui veut dire que nous visons une pureté minimale de 97% pour autoriser l'administration du produit aux patients. En temps normal, la pureté se situe toujours autour de 99% et plus.

Le radiopharmaceutique est ensuite filtré pour le stériliser; il sera alors prêt à être fractionné en doses individuelles pour chaque patient.

Chaque dose prélevée doit être double-vérifiée par un second technologue afin de s'assurer de respecter l'activité radioactive prescrite pour chaque patient; la dose finale sera ajustée à un volume correspondant à 6 ml. L'activité prélevée ne doit varier d'au plus  $\pm 5\%$  par rapport à dose prescrite.

Des doses entre 3,7 GBq et 14,8 GBq de Lutécium177-Dota-tate peuvent être administrées. Les doses sont ajustées à chaque cycle en fonction de la réponse à la thérapie, à la clairance plasmatique ainsi qu'à l'indice de masse corporelle du patient le jour du traitement.

### Administration de la thérapie

Le processus d'administration de la thérapie se déroule sur une journée complète. On effectue des prélèvements sanguins pour évaluer l'état de santé général du patient, le taux de clairance plasmatique et pour faire le décompte des cellules sanguines pour s'assurer que la thérapie est sécuritaire pour le patient.

On aura préalablement demandé au patient de cesser les injections sous-cutanées d'octréotide 48 heures avant la thérapie pour éviter de saturer les récepteurs de somatostatine ciblés par les molécules thérapeutiques. Un arrêt de la prise de médication: Sandostatine LAR et Somatuline deux semaines avant la thérapie sera également demandé.

Une équipe de soins s'occupera d'installer deux voies veineuses au patient. Dans la première voie, nous instillerons un mélange d'acides aminés dans le but de limiter la réabsorption tubulaire lors de l'excrétion rénale du radiopharmaceutique. Nous limiterons ainsi l'irradiation inutile des reins.

La deuxième voie veineuse sera utilisée pour administrer la thérapie radioactive et infuser une solution saline (NaCl 0,9%) de 500 ml sur une période de 4 heures pour optimiser l'hydratation du patient et maintenir une bonne élimination rénale.

On doit commencer la perfusion d'acides aminés 30 minutes avant d'injecter le radiopharmaceutique et on la poursuivra pour une durée d'environ 3,5 heures.

La thérapie est toujours administrée dans un volume de 6 ml pour une durée de 20 minutes afin de limiter l'intensité des effets secondaires qui peuvent se manifester.

On gardera ensuite les patients sous la surveillance d'infirmiers qui s'occuperont de prendre leurs signes vitaux durant leur séjour à l'hôpital pour recevoir le traitement. L'équipe de soins pourra également, en cas de besoin, aider à soulager les symptômes et les effets secondaires que peut causer l'administration du Lu177-Dota-tate en voie systémique. On parle ici de bouffées de chaleur, de crampes abdominales, de nausées ainsi que d'une possible hypoglycémie aiguë (dans les cas où les tumeurs sécrètent de l'insuline). La thérapie est très irritante pour les TNE, ce qui provoque un relâchement des hormones contenues dans celles-ci.



Figure 2 : Hotte à flot laminaire blindée servant aux synthèses stériles de radio-peptides à l'Hôtel-Dieu de Québec.





## Consignes de radioprotection

Des consignes de radioprotection seront transmises au patient.

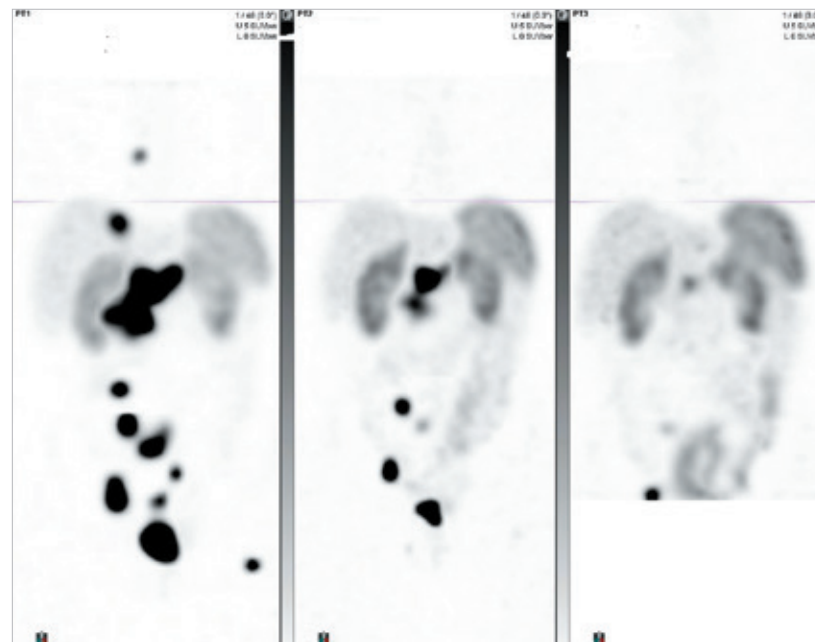
- On demandera aux patients pour les 3 premiers jours suivant le traitement de limiter la durée de temps passé à proximité des personnes de leur entourage (< 1 mètre).
- On encouragera également les patients à rester bien hydratés et à uriner le plus fréquemment possible, ce qui aidera à éliminer le radiopharmaceutique encore disponible en circulation systémique. On mentionnera aussi aux patients d'actionner deux fois la chasse d'eau après avoir uriné pour limiter l'irradiation des gens qui utilisent la même salle de bain.
- On demandera aux patients en couple de faire lit à part.
- On suggère d'éviter de procréer dans les 6 mois suivant le dernier cycle de la thérapie.

Finalement, les patients seront libérés et devront se présenter au service de médecine nucléaire le lendemain matin afin que l'on effectue une scintigraphie pancorporelle et tomographique corrélée avec une TDM faible dose. D'autres images seront également faites 72 heures post thérapie, en mode tomoscintigraphie et TDM seulement.

Ces images permettront de voir l'étendue de la maladie et de suivre l'évolution des lésions entre chaque cycle de traitement.

Un logiciel spécialement conçu par le Dr Jean-Mathieu Beauregard (nucléiste à l'Hôtel-Dieu de Québec) et son équipe permet d'évaluer la quantité de Lu177-Dota-tate contenu dans chaque voxel (pixel en 3D) des tomoscintigraphies, soit un peu le même principe que les S.U.V. avec la modalité TEP. Il sera donc possible d'évaluer la dose absorbée au niveau des lésions traitées.

**Cette thérapie permettrait d'offrir une durée de vie supplémentaire d'environ 20 à 60 mois aux patients.**



**Figure 3** : Évolution d'un patient au cours de trois cycles de traitement au Lu177-Dota-tate. Premier cycle à gauche, deuxième cycle au centre et troisième cycle à droite. On peut voir la régression des tumeurs et des métastases du patient.

## Le suivi post traitement

Pour chaque patient, on prévoit quatre cycles de traitements tous espacés de huit semaines. Les visites sont ainsi espacées, car l'administration d'émetteurs bêta dans le corps humain provoque une baisse transitoire du nombre cellules sanguines. En donnant plus de temps entre les cycles, on limite le phénomène.

Selon la réponse du patient, nous pouvons ajouter des cycles supplémentaires afin de faire régresser au maximum les tumeurs et les métastases.

Trois mois après le dernier cycle de traitement, le patient subira à nouveau un examen diagnostique TEP au Ga68-Dota-tate ou une scintigraphie à l'octroétide marqué à l'indium-111 pour évaluer la réponse thérapeutique.

Les examens de suivi ne sont pas recommandés entre les cycles de traitements, puisque les radiations peuvent causer de l'œdème aux endroits où la thérapie a agi, ce qui pourrait fausser les images obtenues.

Selon les données observées à l'Hôtel-Dieu de Québec, cette thérapie permettrait d'offrir une durée de vie supplémentaire d'environ 20 à 60 mois aux patients qui ont bénéficié de la radiothérapie peptidique ciblée. On parlera de rémission complète pour seulement 1 % des gens ayant reçu la même thérapie radioactive.

## Ce n'est qu'un début !

Ce nouveau type de thérapie est très efficace pour rallonger considérablement la durée ainsi que la qualité de vie des patients atteints de ce type de cancer. Sans l'ombre d'un doute, il est possible que dans les années à venir, nous observions une hausse des thérapies radioactives ciblées effectuées au Québec ainsi que de nouveaux protocoles théranostiques.

Ces types de protocoles qui permettent d'imager et de traiter les maladies et les cancers à l'aide d'une même molécule choisie à laquelle nous « attachons » un radio-isotope diagnostique pour imager la maladie et un radio-isotope à vocation thérapeutique/diagnostique pour détruire les cellules anormales visées par la molécule choisie et pour mettre en image leur évolution au cours des cycles de traitements.

Bienvenu dans la révolution et l'avenir de la médecine nucléaire, l'imagerie moléculaire !

### SOURCES :

- 1 – Dr Alexis Beaulieu, nucléiste, Hôtel-Dieu de Québec.
- 2 – Dr François-Alexandre Buteau, nucléiste, Hôtel-Dieu de Québec
- 3 – Dr Jean-Mathieu Beauregard, nucléiste, Hôtel-Dieu de Québec

### SITES WEB

- 1 – Lutetium177 – LuMark® [En ligne] <http://www.idb-holland.com/our-products/lutetium-177-lumark/> (consulté le 16 octobre 2018)
- 2 – Société Canadienne du cancer. [En ligne] [www.cancer.ca](http://www.cancer.ca) (consulté le 16 octobre 2018)

### FIGURES

- 1 – [www.hobokenradiology.com/wp-content/uploads/2018/06/GA-VS-OC.jpg](http://www.hobokenradiology.com/wp-content/uploads/2018/06/GA-VS-OC.jpg)
- 2 – Photo prise par l'auteur
- 3 – Département de médecine nucléaire de l'Hôtel-Dieu de Québec



# La théranostique contre le cancer : une médecine personnalisée... et bien dosée

**Nous voilà dans l'ère tant attendue de la médecine personnalisée avec l'approche théranostique dans le cancer.**

**Benoit Galarneau,**  
ing., M. Sc. A, MBA  
Directeur international  
du marketing  
Hermes Solutions  
Médicales Canada Inc.,  
Montréal

Le cancer est l'insatiable mal du siècle. Selon l'Organisation mondiale de la santé, il a fait 8,8 millions de morts en 2015. Près d'un décès sur six dans le monde est dû à cette maladie. Pire encore, le nombre de nouveaux cas devrait augmenter d'environ 70% au cours des deux prochaines décennies.

Alors les médecins, les chercheurs, les scientifiques multiplient leurs efforts et rivalisent d'ingéniosité pour tenter d'en venir à bout, ou du moins de perfectionner encore et encore les moyens de le dépister, de le diagnostiquer et de le traiter.

La nouvelle arme contre le cancer s'appelle la théranostique, une contraction des mots «thérapie» et «diagnostique». «C'est l'expression en un seul mot de l'activité combinée et dans un même continuum d'un processus diagnostique et thérapeutique pour un patient», précise le docteur François Lamoureux, professeur agrégé de clinique en médecine nucléaire à la faculté de médecine de l'Université de Montréal et président de l'Association canadienne de médecine nucléaire.

**Il s'agit donc de cartographier les cellules cancéreuses, puis de les cibler avec un traitement localisé.**

L'objectif de la technique : étudier de près le comportement d'une tumeur pour pouvoir choisir le traitement le plus adapté. Il s'agit donc de cartographier les cellules cancéreuses (grâce à l'imagerie fonctionnelle) puis de les cibler avec un traitement localisé.

*L'approche théranostique consiste à viser spécifiquement les cellules cancéreuses par des molécules de ciblage marquées avec des éléments radioactifs.*

## Comment ça marche ?

À leur surface, les cellules cancéreuses présentent des cibles physiologiques diverses, comme des récepteurs, des enzymes ou encore des protéines. L'approche théranostique consiste à les viser spécifiquement par des molécules de ciblage (des ligands spécifiques) marquées avec des éléments radioactifs. Ceux-ci sont destinés au diagnostic, ils émettent alors un rayonnement qu'on peut visualiser par imagerie, ou à la thérapie, il s'agit là d'irradier directement la tumeur avec un puissant radionucléide. Typiquement, il s'agirait d'utiliser par exemple un traceur marqué au gallium 68 pour le diagnostic, puis un radionucléide thérapeutique comme le Lutécium177.

Nous voilà dans l'ère tant attendue de la médecine personnalisée. «Avec l'approche théranostique dans le cancer, on peut plus judicieusement choisir non seulement pour un patient bien spécifique le traitement le plus adapté – tant au niveau des molécules que des doses –, mais aussi appliquer des traitements innovants», détaille le spécialiste. Et puisque chaque traitement est spécifiquement choisi pour chacun des patients, cela évite les traitements de masses qui pourraient s'avérer peu ou pas efficaces.

## Le bon dosage

Mais en plus de proposer une médecine personnalisée, il faut s'assurer qu'elle soit aussi bien dosée... Et c'est d'autant plus indispensable quand on utilise des éléments radioactifs. Si la radioactivité offre aux

patients d'importants bénéfices, il est en effet primordial d'éviter ses conséquences délétères. Par ça, il faut connaître la dose cumulative de radiation que reçoit ou qu'a reçu un patient : sa dosimétrie.

À ce propos, la Communauté européenne de l'énergie atomique (CEEA ou Euratom) a légiféré sur l'exposition aux rayonnements ionisants. Ainsi, la directive 2013/59/ Euratom du 5 décembre 2013 concerne les expositions du public, celles de tous les professionnels, mais aussi l'utilisation des rayonnements ionisants dans le domaine médical. Autrement dit, quand un médecin optera pour une approche théranostique, il faudra qu'il ait calculé la dose adéquate d'éléments radioactifs que le patient va recevoir, pour minimiser les effets indésirables et se concentrer sur les cellules à éradiquer.

**Et si vous regroupiez toutes vos assurances sous un même toit ?**

Profitez de notre COUVERTURE 360° et bénéficiez de protections sur-mesure et d'une tarification de groupe concurrentielle.

**Lussier Dale Parizeau**  
Cabinet de services financiers

**1 877 304-9334**

LussierDaleParizeau.ca/otimroepmq





# La radiothérapie interne sélective : cibler pour mieux soigner

**La radiothérapie interne sélective (SIRT), cibler pour mieux soigner : au service du patient.**

**François Hébert,**  
t.i.m.  
Directeur des ventes,  
Canada &  
développement  
des affaires,  
Amérique de Nord  
Hermes Solutions  
Médicales Canada inc.,  
Montréal

Si le cancer est susceptible d'affecter toutes les parties du corps, il peut être plus difficile à traiter selon sa localisation. C'est notamment le cas des cancers non résecables, c'est-à-dire ceux qui ne peuvent pas être complètement retirés par la chirurgie. Le cancer du foie a ce profil. De plus, cet organe a le désavantage d'être particulièrement sensible aux rayonnements de la radiothérapie externe, si bien que la dose qu'il est possible d'administrer est limitée.

**La particularité de ce traitement est que les rayons ionisants sont délivrés de l'intérieur.**

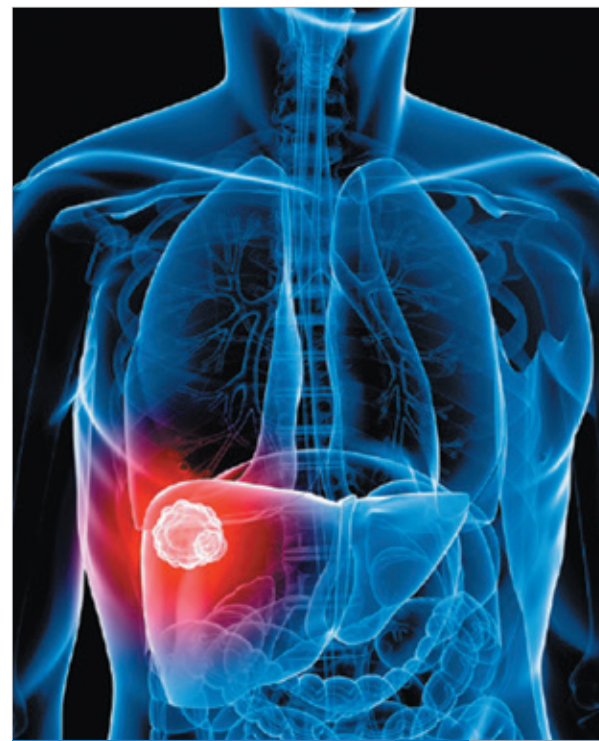


Figure 1 : Tumeur du foie.

Mais une technique, pour l'instant utilisée en dernier recours, pourrait bien changer la donne : la radiothérapie interne sélective, qu'on appelle aussi radioembolisation. Le principe est celui de la radiothérapie et de ses rayons ionisants (radioactifs) pour traiter le patient. La particularité de ce traitement est que les rayons ionisants sont délivrés de l'intérieur. L'énorme avantage est évidemment qu'ils attaquent spécifiquement les cellules cancéreuses, épargnant ainsi, autant que possible, les cellules normales environnantes. Avec à la clé, beaucoup moins d'effets secondaires.

## Des microsphères à la rescousse

Le traitement consiste à administrer des microsphères remplies de matériel radioactif dans les artères qui alimentent la tumeur. L'intervention se fait en radiologie interventionnelle grâce à la pose d'un cathéter dans l'artère fémorale et en guidant celui-ci vers les fameux vaisseaux artériels. Ces microsphères sont en verre ou en résine et beaucoup plus fines qu'un cheveu. Elles jouent deux rôles importants : elles permettent de déposer localement un rayonnement de haute énergie sans irradier les cellules saines et, de par leur taille, elles se bloquent dans les vaisseaux sanguins qui alimentent la tumeur, appauvrissant ainsi son apport sanguin.

Pour chaque patient, la dose à injecter est déterminée en fonction des volumes hépatiques tumoraux et normaux. Mais une fois ce calibrage effectué, il convient de s'assurer que les microsphères se rendent effectivement à bon port. Il existe en effet des communications naturelles entre les différentes parties du corps humain, et il se peut qu'il y ait une fuite. Pour ça, il faut évaluer le

shunt foie-poumon, c'est à dire la quantité de radioactivité qui passerait dans les poumons au lieu de se diriger vers le foie. Jusqu'à 10% est toléré.

La dernière étape est de déterminer si le traitement a fonctionné. « La quantification de la dose à administrer est extrêmement importante, notamment pour ce traitement, assure le docteur François Lamoureux, professeur agrégé de clinique

en médecine nucléaire à la faculté de médecine de l'Université de Montréal et président de l'Association canadienne de médecine nucléaire. Mais en plus, il est nécessaire de pouvoir évaluer les doses de radiation effectivement transmises sur le site de la tumeur ainsi que dans les tissus environnants ». Grâce à des

techniques d'imagerie, les spécialistes sont capables d'estimer si le traitement fonctionne, c'est-à-dire si la quantité de radioactivité proposée a effectivement un effet positif en attaquant la tumeur, ou s'il faut réévaluer la procédure pour un patient donné.

Quelques compagnies proposent une analyse et/ou un suivi à des moments clés du traitement. Cependant, idéalement, un suivi par imagerie tout au long de la chaîne de travail serait optimal : avant, pour planifier la dose à administrer; pendant, pour suivre l'évolution des microsphères; et après, pour évaluer l'effet de la radioactivité sur la tumeur.

La radiothérapie interne sélective est aujourd'hui encore considérée comme une technique « de sauvetage », mais elle pourrait représenter une des pistes les plus prometteuses pour traiter le cancer et devenir un traitement de première ligne.

**Le traitement consiste à administrer des microsphères remplies de matériel radioactif dans les artères qui alimentent la tumeur.**

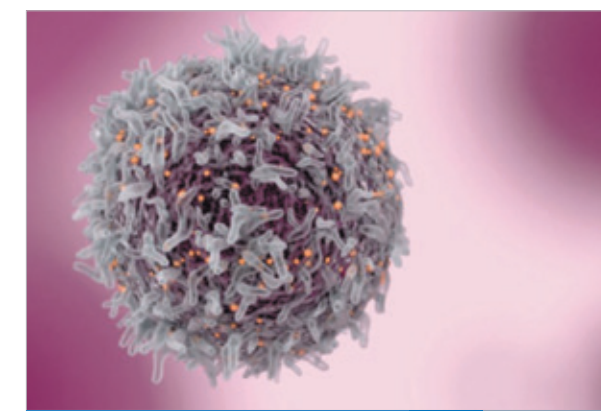


Figure 2 : Tumeur.

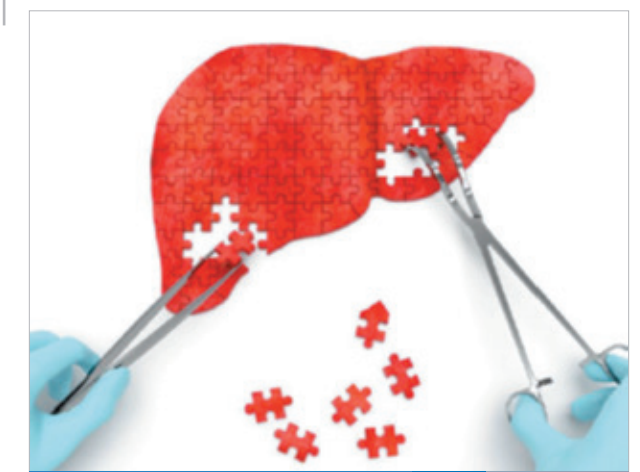


Figure 3 : Foie.

# L'impression 3D et l'imagerie médicale : Quand «toucher aide à mieux comprendre»!

**De l'éducation à l'implantation de modèles qui remplacent les organes, l'impression 3D envahit la santé grâce à l'imagerie médicale !**



**Mohamed Khelifi,**  
t.i.m.  
Coordonnateur technique  
CIUSSS de l'Ouest de l'Île-de-Montréal,  
Hôpital de LaSalle

Vous avez probablement déjà entendu l'histoire d'un ancien ingénieur informatique et instructeur à l'U. S. Air Force qui a sauvé sa femme d'un méningiome grâce à une impression de son examen IRM en 3D! Vous avez sûrement aussi suivi l'émission *Découverte* à propos de la première greffe de visage au Canada réalisée à l'hôpital Maisonneuve-Rosemont où une planification 3D de la transplantation faciale faisait partie de la préparation de cette opération. Ainsi, le terme «3D» est de plus en plus utilisé en santé, mais quand il est couplé à une impression, le sujet devient encore plus intéressant!

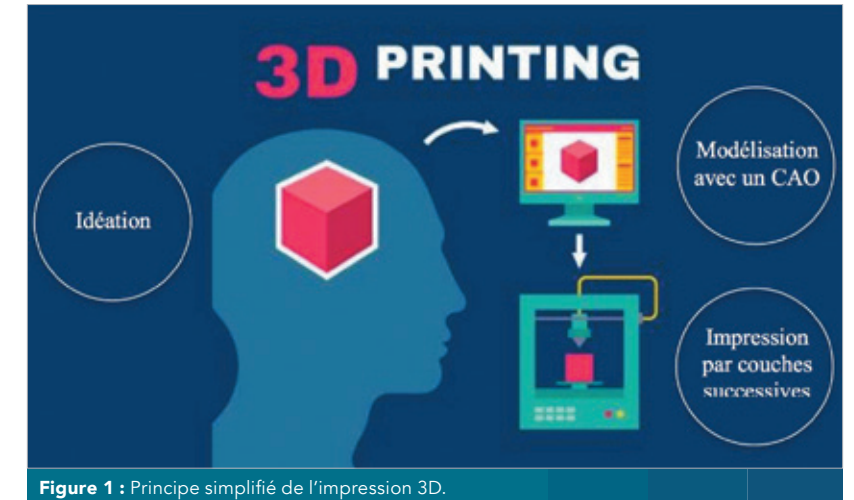
Après l'ère du *conventionnel* et du *numérique*, le domaine de la radiologie vit actuellement une autre révolution technologique grâce au traitement des images et son processus de reconstruction. En tant que nouvelle technologie, la fabrication additive ou impression 3D de modèles anatomiques est la prochaine avancée en imagerie médicale. Son utilisation en médecine est en pleine expansion : préparation aux opérations chirurgicales, simulations spécifiques aux patients et éducation de futurs professionnels de la santé... Le but de cet article est d'expliquer les principes de l'impression 3D, ses applications dans le domaine de la santé et le rôle que peut jouer le technologue en imagerie médicale dans cette nouveauté.

## Qu'est-ce que l'impression 3D?

L'impression 3D ou la fabrication additive est un processus de fabrication d'objets solides tridimensionnels à partir d'un fichier numérique. L'objet imprimé en 3D est créé par processus additif en superposant des couches de matériaux. À l'inverse des procédés de fabrication traditionnelle qui soustraient peu à peu la matière ou la déforment pour lui donner la forme souhaitée, l'impression 3D permet de créer des formes complexes en utilisant moins de matériaux. La pièce est créée en un seul passage, couche après couche, au rythme moyen d'un à deux centimètres de hauteur par heure<sup>1</sup>. Toutefois, il ne sera possible de créer la pièce qu'à partir d'un modèle 3D, préparé par des logiciels, associé à une machine appelé imprimante 3D. **(Figure 1)**

## S'agit-il vraiment d'une nouvelle technologie ?

Certains considèrent l'impression 3D comme étant une troisième révolution industrielle qui permet de créer des objets par superposition de fines couches de matière et qui est une technologie en plein essor. Longtemps réservée aux industries de pointe, elle s'est récemment démocratisée avec l'arrivée sur le marché d'imprimantes moins onéreuses et plus rapides, ainsi qu'un choix plus varié de matériaux imprimables<sup>2</sup>. **(Figure 2)** Mais rappelons d'abord l'origine de cette technologie. Elle a émergé au début des années 1980 dans et pour le monde industriel sous l'appellation de « fabrication additive ». L'impression 3D a été conçue au départ pour réaliser des prototypes, finalité qui représente encore aujourd'hui plus de 75 % du marché de cette technologie<sup>3</sup>. Elle a été créée en 1984 par la société 3D Systems et c'est l'ingénieur américain Charles Hull qui déposait le premier brevet d'utilisation de la stéréolithographie. **(Figure 3)** Il s'agissait d'une machine destinée au prototypage rapide qui fonctionnait selon un procédé qu'il nomme la stéréolithographie apparatus (SLA). Depuis lors, la technologie a connu une croissance exponentielle et a été adoptée par plusieurs entreprises comme Stratasys Ltd qui domine actuellement 30% du marché des fournisseurs de services. À partir de 1996, apparaît la notion d'impression 3D avec le lancement sur le marché de machines appelées imprimantes 3D (Actua 2100 de 3D System et Z402 de Z Corporation). En 2006, la naissance du projet RepRap, une imprimante 3D pilotée par un logiciel libre, capable d'imprimer ses propres composants et donc de s'autoreproduire. Appelée «l'imprimante autorépliquante», elle permet de fabriquer des pièces en matière plastique, qui une fois assemblées, donneront naissance à une nouvelle imprimante 3D. Cette technologie est, par la suite, entrée dans d'autres domaines. En 2010, des étudiants européens travaillent



**Figure 1 :** Principe simplifié de l'impression 3D.



**Figure 2 :** XYZ Printing Da Vinci Mini : exemple d'imprimante 3D utilisant la technologie FFF (Fused Filament Fabrication).



**Figure 3 :** Charles Hull, l'inventeur de l'imprimante 3D avec son buste imprimé en 3D. Il savait que son invention mettrait jusqu'à 30 ans pour se retrouver chez les gens. Aujourd'hui, les possibilités semblent infinies.



sur l'impression 3D de nourriture à travers le projet Cornocopia, une usine qui permet de stocker les ingrédients et de cuisiner des petits plats. Ces imprimantes ont envahi le domaine de la santé lorsqu'en 2010, le docteur Gabor Forgacs et la société Organovo impriment le premier vaisseau sanguin, annonçant ainsi la naissance de la bio-impression. Les idées se sont succédé par la suite : impression des maisons, des armes à feu et même des pièces en 3D dans l'espace à bord de la station internationale en 2014 ! Cette technologie, qui existe depuis presque 30 ans, n'est donc pas une nouveauté. Ce qui en fait une nouveauté, c'est l'accès à cette technologie par le grand public avec l'apparition dans le commerce de machines de petite taille à prix abordables, à la suite de l'expiration des brevets protégeant cette technologie<sup>4</sup>.

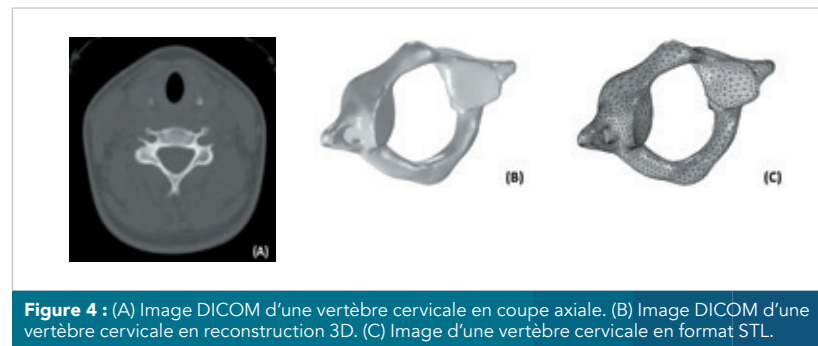
**Principes et fonctionnement**

Pour expliquer le fonctionnement de l'impression 3D, voici son utilisation dans le domaine de la santé et plus spécifiquement en radiologie. De cette façon, nous remplaçons les expressions « fabrication additive » et « prototypage rapide » utilisées dans le domaine industriel, par l'expression « impression en 3D » souvent utilisée en santé.

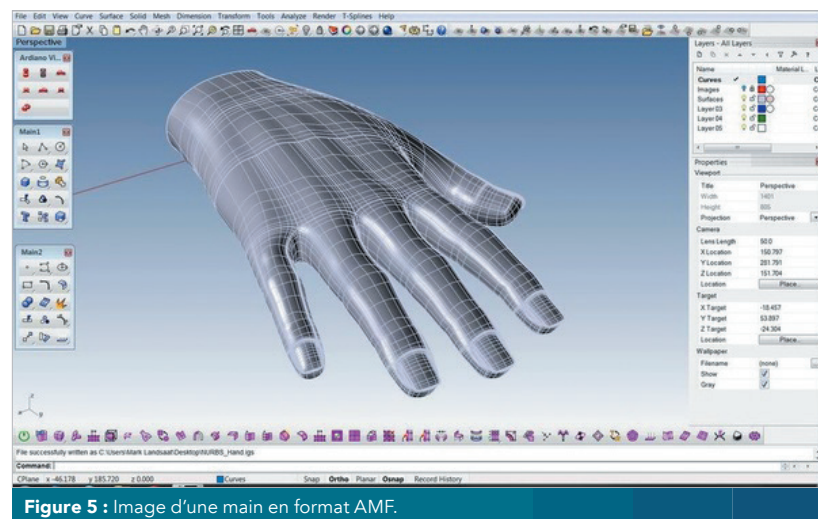
L'intégration de l'impression 3D dans le domaine de la radiologie, à partir d'images générées par les différentes modalités d'imagerie médicale (scanneur, IRM, échographie), présente des défis particuliers, notamment en ce qui a trait à la formation, au matériel et à l'équipement ainsi qu'aux directives à respecter. Ce défi fait suite à la réalité suivante : il est prévu que le nombre de modèles imprimés

en 3D générés à partir d'images DICOM pour planifier des interventions et fabriquer des implants augmentera de manière exponentielle<sup>5</sup>. D'ailleurs, pour souligner l'importance de cette technologie, la Radiological Society of North America (RSNA) a lancé, en 2013, un programme éducatif sur l'impression 3D et a même mis cette expression dans les catégories du programme scientifique de son congrès annuel. Au Québec, l'Institut TransMed-Tech soutient déjà des projets de recherche sur l'impression 3D et la santé comme les orthèses pédiatriques personnalisées.

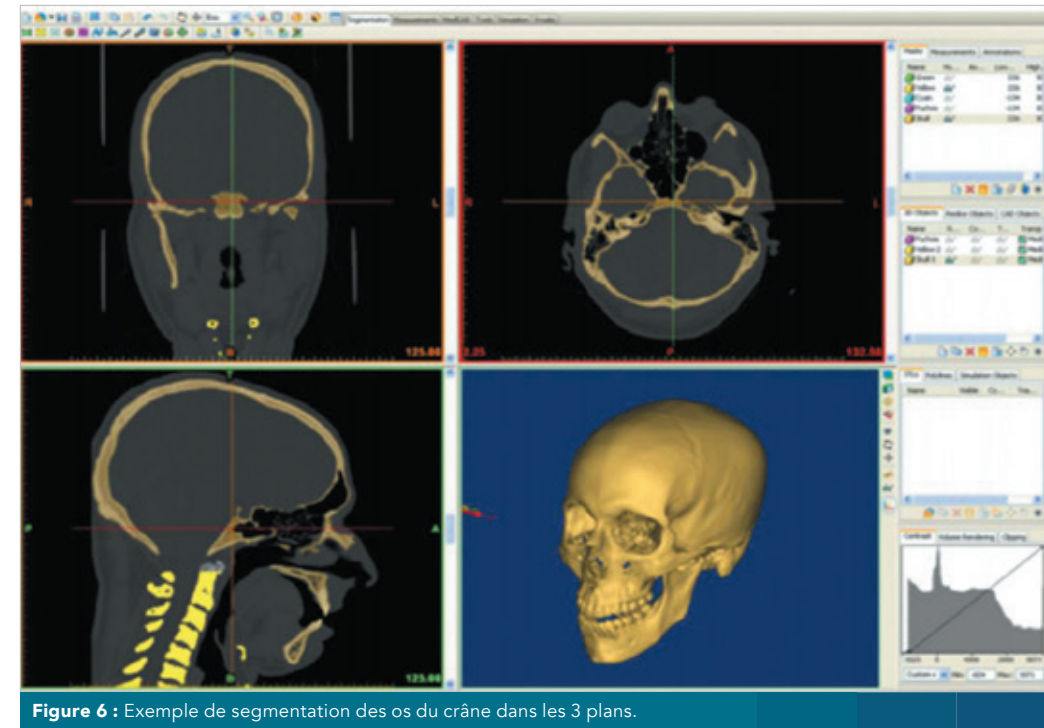
Dans plusieurs départements d'imagerie médicale (entre autres aux États-Unis) sont aménagés des laboratoires d'impression 3D pour répondre aux besoins d'ingénierie rapide des prototypes de conception. En effet, depuis 2003, parmi les 8000 modèles 3D imprimés dans le 3-D Medical Applications Center du département de radiologie du Walter Reed National Military Medical Center, 7500 modèles ont été générés à partir d'images DICOM des appareils de tomodensitométrie<sup>6</sup>. Par contre, pour imprimer, les imprimantes 3D n'acceptent pas directement les fichiers d'images DICOM;



**Figure 4 :** (A) Image DICOM d'une vertèbre cervicale en coupe axiale. (B) Image DICOM d'une vertèbre cervicale en reconstruction 3D. (C) Image d'une vertèbre cervicale en format STL.



**Figure 5 :** Image d'une main en format AMF.



**Figure 6 :** Exemple de segmentation des os du crâne dans les 3 plans.

**L'impression 3D connaît un grand succès en médecine en raison de sa grande précision, puisque généralement la divergence entre les modèles anatomiques segmentés et les modèles imprimés sont de l'ordre 0,4 mm.**

elles comprennent plutôt le *Standard Tessellation Language* (STL). Plus précisément, elles « comprennent » les objets individuels définis par des surfaces qui entourent des régions dans l'espace. Le format de fichier standard, créé par l'ingénieur Chuck Hull, qui définit ses espaces est le langage STL. (Figure 4) En d'autres termes, le format STL définit les surfaces comme une collection de triangles ou de facettes qui s'emboîtent comme un casse-tête. Un autre format, l'*Additive Manufacturing File* (AMF) est aussi adopté en 2011 pour simplifier l'utilisation dans le domaine de la santé (impression des vaisseaux, des calcifications...) (Figure 5)

Trois étapes principales sont requises pour avoir un cœur imprimé en 3D : l'acquisition d'images, le post-traitement d'images et l'impression 3D.

**L'acquisition d'images**

C'est souvent à partir des coupes 2D générées par l'appareil de tomodensitométrie que nous commençons le projet d'impression. Pour avoir une bonne impression 3D, il faut, dès le départ, avoir des images de meilleure qualité. Puisque le principal critère de qualité d'une image est sa résolution, il faut donc avoir les meilleurs contraste et définition possible. Les examens avec injection de

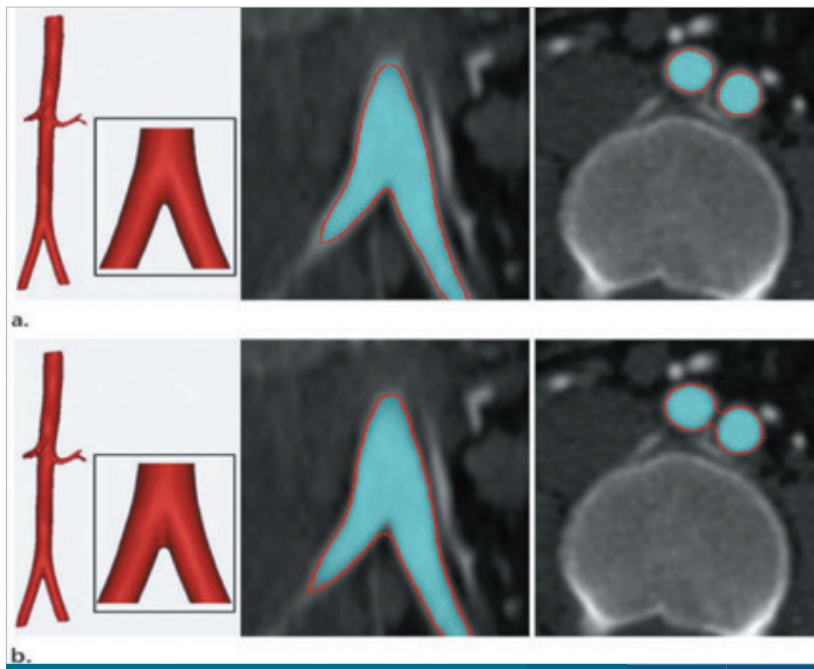
produit de contraste au scan sont préférables, car elles permettent une meilleure différenciation des tissus, des organes et un contraste élevé. Le contraste élevé, le rapport signal sur bruit et la résolution spatiale améliorent la différenciation de la structure et minimisent les effets de volume partiels susceptibles de limiter l'impression 3D. Les images DICOM du scanneur sont aussi plus faciles à les traiter lors de la seconde étape.

En pratique, et selon plusieurs recherches, pour avoir la meilleure qualité<sup>7</sup>, la reconstruction des coupes natives (en transverse) doivent être ≤ 1,25 mm.

**Le post-traitement d'images**

Rappelons que l'impression 3D a bénéficié des processus de reconstruction dans les différents plans que nous réalisons déjà quotidiennement dans les départements de radiologie.

Le travail commence donc après la collecte des fichiers DICOM. Les coupes axiales ou leurs reconstructions sagittales ou coronales de l'examen de scanneur sont téléchargées et prêtes pour la sélection des régions voulues. Il s'agit d'une segmentation automatique et manuelle qui précise les tissus souhaités en plaçant les régions d'intérêt (ROI) autour de ces derniers. (Figure 6)



**Figure 7 :** Post-traitement des images de tomodensitométrie avec contraste de l'aorte abdominale. (a) Sur les images coronales (au milieu) et axiales (à droite), l'aorte est segmentée par seuillage (couleur bleue) et une surface STL est générée (volume 3D à gauche en rouge). (b) Sur les images TDM coronale (au milieu) et axiale (à droite), le raffinement du fichier STL à l'aide d'opérations de lissage standard risque de ne plus décrire correctement l'anatomie normale.

Plusieurs logiciels peuvent être utilisés pour la segmentation des régions anatomiques. Pour un meilleur résultat, il est important que l'utilisateur ait une parfaite connaissance de l'anatomie humaine et de l'imagerie en coupes, soit le médecin radiologiste ou le technologue en imagerie médicale. Cette étape nécessite aussi un raffinement rigoureux des rebords des régions segmentées en utilisant des logiciels spécialisés. **(Figure 7)** À partir des images DICOM segmentées, un logiciel de conversion permet d'avoir un modèle STL 3D imprimable en préservant les caractéristiques anatomiques. Ce sont des logiciels de manipulation d'objets en 3D appelés aussi logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) qui produisent une vue 3D de l'objet ou de la région à imprimer. Ils

permettent une manipulation dans toutes les directions, ce qui donne une idée précise sur la forme finale avant l'impression. On doit, ainsi, examiner soigneusement le modèle STL final par rapport aux images sources pour en vérifier la précision.

### La phase d'impression

Une fois le modèle 3D prêt à être imprimé, l'opérateur aura plusieurs choix pour finaliser son projet. Il existe des paramètres à prendre en considération comme le temps nécessaire pour obtenir la forme finale, la disponibilité, le choix et le coût des imprimantes et des matériaux nécessaires, les couleurs utilisées, la biocompatibilité, la stérilisation, la résistance à la température et à l'humidité, la transparence, les propriétés de moulage, etc.

### Choix du matériau

Les principaux matériaux utilisés actuellement en impression 3D se répartissent en deux grandes familles: les plastiques et les métaux, auxquels viennent s'ajouter les céramiques et les matériaux organiques. Bien entendu, ils ne sont pas compatibles avec toutes les techniques d'impression 3D<sup>8</sup>. Les constructeurs ont déposé des brevets par technologie et machine, de même que pour les composants compatibles avec ces imprimantes. Chaque fabricant possède donc sa propre gamme de matériaux imprimables. Les caractéristiques d'un matériau influenceront grandement le rendu et le post-traitement de la pièce imprimée, que ce soit sur le plan de sa solidité, de sa flexibilité, de sa résistance, de sa

transparence, de son niveau de détail, de son état de surface ou encore de ses finitions<sup>9</sup>. Si nous imprimons, par exemple, une prothèse de la hanche pour implantation, il est important de prendre en considération sa stérilisation à la fin du projet puisque pour stériliser, les techniques courantes utilisent la température élevée, des produits chimiques ou même la radiation.

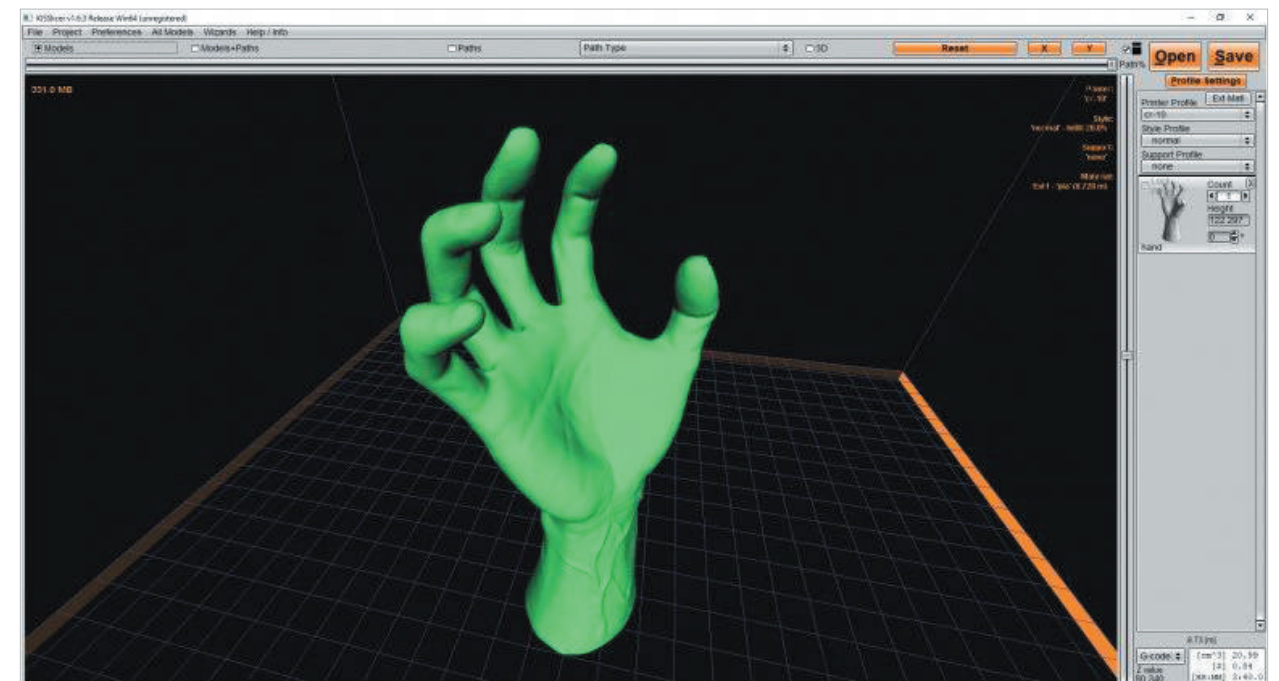
### Les imprimantes 3D

L'imprimante est guidée par un logiciel de contrôle qui organise le déroulement de tout le processus et fournit les informations nécessaires sur l'état d'impression. **(Figure 8)**

Il analyse les fichiers du modèle STL 3D et permet de suivre l'évolution de l'objet à imprimer. Pour

utilisation médicale, il existe plusieurs technologies d'imprimantes qui permettent d'avoir un modèle à visée éducative ou pour utilisation clinique. Elles diffèrent selon les types de matériaux utilisés et la procédure. Les technologies les plus utilisées sont:

**L'impression par dépôt de matière (Fused Deposition Modeling [FDM]):** un des procédés de fabrication additive les plus courants. C'est un modelage par dépôt de matière thermoplastique en fusion qui utilise principalement l'acide polylactique (PLA) et l'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS). La machine dépose couche par couche un filament fondu à une température de 200 °C qui, en se superposant, donne forme à l'objet. La tête d'impression



**Figure 8 :** KISSlicer, exemple de logiciel d'imprimante 3D.





se déplace selon les coordonnées X, Y et Z transmises par le fichier du modèle STL 3D (Figure 9)

**La stéréolithographie** (*Stereolithography Apparatus [SLA]*) consiste à solidifier un liquide photosensible par le biais d'un rayon laser ultraviolet. On utilise de la résine époxy liquide et un laser avec lumière UV : couche après couche, les molécules se durcissent sous l'effet de la lumière ultraviolette par photopolymérisation tout en se liant aux couches adjacentes. (Figure 10)

**Le frittage laser de poudre** (*Selective Laser Sintering [SLS]*) permet de fabriquer des pièces à partir de matériaux en poudre. Un bras métallique coulissant étale de la poudre polyamide sur la plateforme d'impression et un laser vient la taper aux endroits qui doivent être solidifiés. (Figure 11)

### Applications cliniques

Dans le domaine médical, les modèles imprimés occupent de plus en plus une place importante en chirurgie, principalement dans les applications maxillo-faciales et récemment pour la planification des interventions chirurgicales. Actuellement, de nouvelles applications font leur apparition, comme les prothèses médicales personnalisées. L'impression 3D connaît un grand succès en médecine en raison de sa grande précision, puisque généralement la divergence entre les modèles anatomiques segmentés et les modèles imprimés sont de l'ordre 0,4 mm.

**En chirurgie crânio-faciale et maxillo-faciale**, l'impression 3D est très demandée, généralement, à partir d'exams de scanner. Elle est utilisée pour planifier des chirurgies, tester des chirurgies reconstructives complexes ou innovantes, concevoir et fabriquer des implants, des prothèses et des guides chirurgicaux sur mesure. (Figure 12) Son application permet d'économiser du temps en salle d'opération, offre une meilleure précision et des avantages sur le plan esthétique. La planification chirurgicale virtuelle est un domaine en pleine croissance, en particulier chez les chirurgiens-dentistes où les modèles imprimés leur permettent de réaliser des répétitions chirurgicales pour le repositionnement, le moulage et la mise en place d'implants.

**La neurochirurgie** a bénéficié de la précision des modèles imprimés en couleurs en les utilisant en peropératoire; ils sont bénéfiques pour la planification et la simulation chirurgicale, l'éducation du patient et la formation. (Figure 13) On les utilise souvent en cas d'embolisation ou pour clipper des vaisseaux.

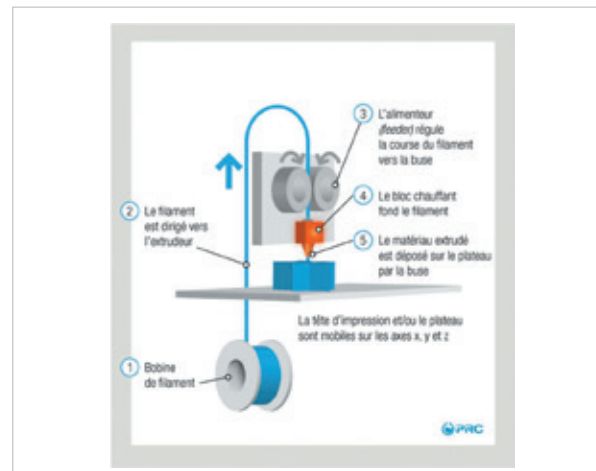


Figure 9 : Fonctionnement d'une imprimante par dépôt de matière.

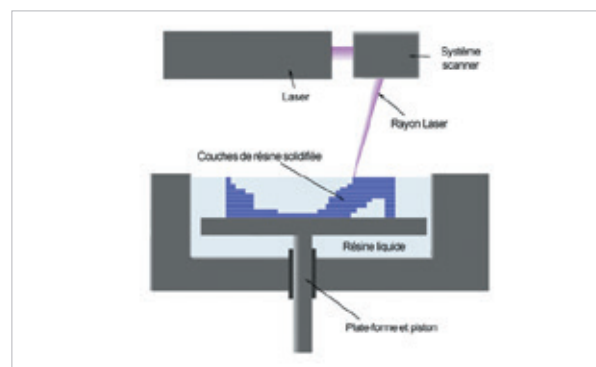


Figure 10 : Fonctionnement d'une imprimante par stéréolithographie.

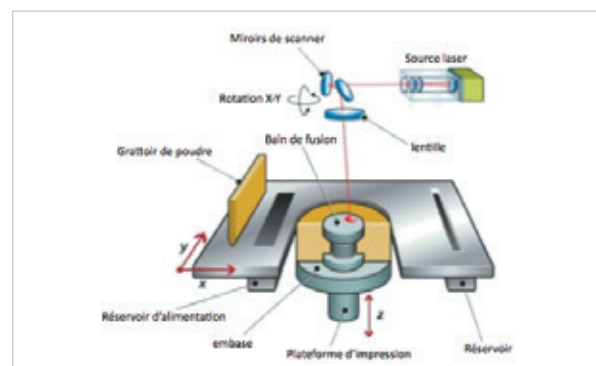


Figure 11 : Fonctionnement d'une imprimante par frittage laser de poudre.



Figure 12 : Modèle imprimé de la mandibule inférieure en stéréolithographie. Remarquez les détails anatomiques : les dents et le nerf lingual (flèche).

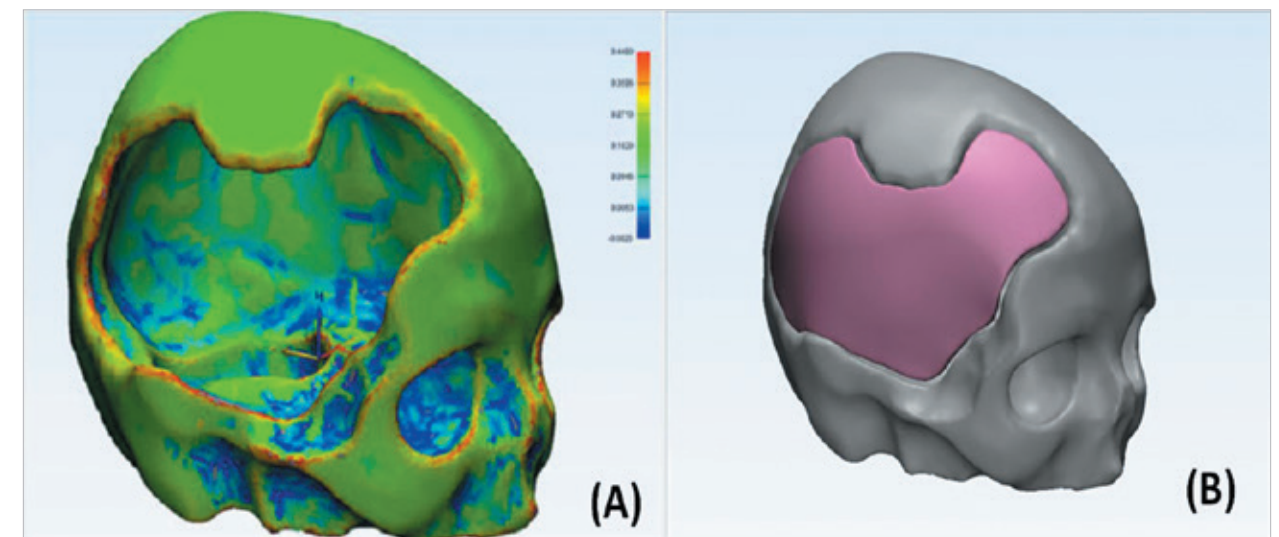
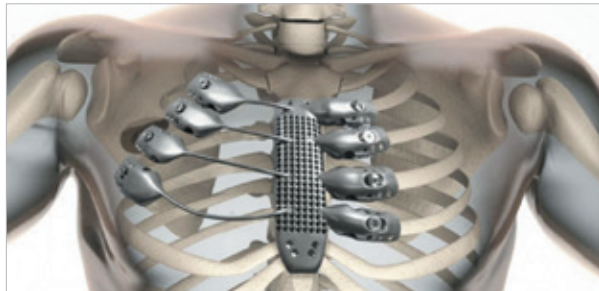
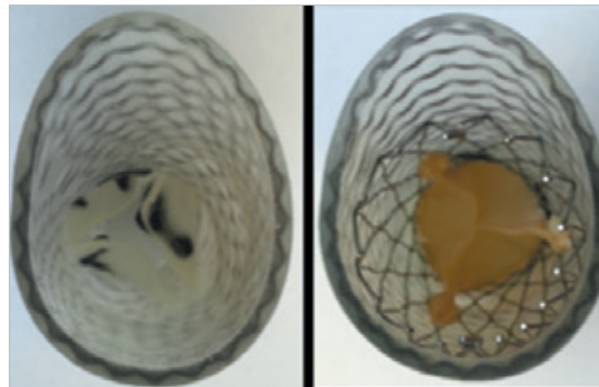


Figure 13 : Des neurochirurgiens utilisent des implants crâniens imprimés en 3D en remplacement des plaques de titane pour réparer les déformations de la boîte crânienne. (A): Reconstruction 3D du crâne montrant une déformation de la boîte crânienne. (B): Préparation de l'implant qui correspond parfaitement aux caractéristiques anatomiques du patient et qui sera imprimé en 3D.

**La bio-impression 3D est un processus de création de structures cellulaires dans un espace confiné à l'aide des technologies d'impression 3D, où la fonction et la viabilité cellulaire sont conservées dans la construction imprimée.**



**Figure 14** : Un sternum en titane et une partie de cage thoracique imprimés en 3D ont été implantés à un patient espagnol souffrant d'un sarcome.



**Figure 15** : L'impression en 3D des valves cardiaques aide les cardiologues à planifier les chirurgies de remplacement valvulaire spécifiques au patient.

**En chirurgie thoracique**, l'impression 3D est utile pour la planification des opérations complexes des tissus pulmonaires chez les adultes ou pour des chirurgies des cancers des poumons chez des patients avec des variantes anatomiques rares. On a aussi recours aux modèles imprimés en cas de résection médiastinale des tumeurs qui permettent de fournir des informations sur la situation de la tumeur par rapport aux structures adjacentes. **(Figure 14)**

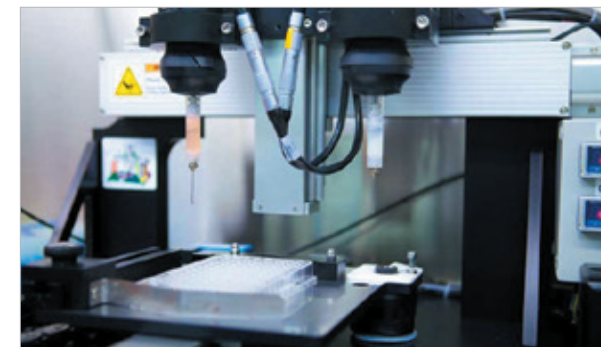
**En chirurgie cardiovasculaire**, de plus en plus d'études soulignent l'importance d'innover pour contourner les obstacles des variantes anatomiques et des malformations congénitales cardiaques. Ainsi, l'impression 3D est une des meilleures solutions, notamment en cas de cardiopathies congénitales nécessitant une intervention chirurgicale. **(Figure 15)** Elle offre une meilleure compréhension des anomalies cardiaques comme les anévrysmes ventriculaires et les tumeurs, et augmente la satisfaction du chirurgien.

**Dans le secteur musculo-squelettique**, les modèles tridimensionnels sont surtout utiles pour la planification des opérations et des procédures orthopédiques. **(Figure 16)** L'impression 3D permet de visualiser et d'apprécier l'état pathologique, et

d'éduquer efficacement les patients et l'équipe soignante. Souvent, elle joue le rôle du kit d'anatomie élaboré pour la formation médicale des étudiants et pour remplacer les cadavres coûteux et difficiles à obtenir. Par exemple, les modèles STL 3D après segmentation d'images DICOM de scanner des os des membres inférieurs sont utilisables pour l'assistance à la chirurgie des membres inférieurs dans le but d'améliorer les chirurgies du genou pour atteindre trois objectifs: la vision osseuse et articulaire personnalisée en temps réel, la compréhension de la morphologie osseuse et de la cinématique articulaire individuelle et la planification et le guidage d'une action chirurgicale optimale<sup>10</sup>. Grâce à l'impression 3D, des prothèses de mains à moindre coût ont été développées pour le Centre de réadaptation Marie-Enfant de Montréal (CRME), dont une prothèse ayant récemment été approuvée comme dépense remboursable par la RAMQ sous forme d'une demande spéciale. Ceci permet de rendre accessible des prothèses mécaniques pour enfants. En choisissant de concevoir une prothèse transcarpienne à faible coût, cela permet de minimiser les coûts récurrents puisque les enfants grandissent et nécessitent des changements de prothèses périodiques<sup>11</sup>.



**Figure 16** : Un implant vertébral produit sur mesure par impression 3D.



**Figure 17** : Une bio-imprimante développée par Organovo.



**Figure 18** : Cette oreille a été greffée grâce au procédé de l'itop (Integrated Yissue-Organ Printer). Elle a été fabriquée par l'intermédiaire d'imprimantes 3D des organes nécessitant une structure et alimentation par des vaisseaux sanguins.

### La bio-impression 3D: la réelle innovation !

En 2013, a été créée aux États-Unis, la première entreprise de tissus humains en 3D, Organovo. **(Figure 17)** Elle œuvre pour une nouvelle forme de recherche médicale en combinant la biologie cellulaire et le génie physique. Depuis, les recherches s'accroissent. En 2016, une équipe de scientifiques de l'université Queensland en Australie avait réussi à imprimer en 3D une oreille fonctionnelle pour une petite fille âgée de 2 ans, grâce à la bio-impression. **(Figure 18)** En mai 2017, des chercheurs ont utilisé la bio-impression pour produire des ovaires de souris. Les souris stériles implantées avec l'ovaire artificiel ont été capables d'ovuler, d'accoucher et de nourrir des bébés souris en bonne santé de manière normale. L'étude est la première à obtenir un tel résultat avec l'aide de l'impression en 3D. Et tout récemment, des chercheurs de l'université de Nantes, en France, ont réussi à imprimer en 3D un cerveau fonctionnel de souris! Plusieurs chercheurs du monde entier travaillent actuellement à imprimer et à développer des organes pour diminuer les rejets lors des transplantations et supprimer les traitements immunosuppresseurs à vie ainsi que l'attente de dons d'organes.

La bio-impression 3D est un processus de création de structures cellulaires dans un espace confiné à l'aide des technologies d'impression 3D, où la fonction et la viabilité cellulaire sont conservées dans la construction imprimée<sup>11</sup>. Il s'agit d'imprimer, couche par couche, à l'aide de matériaux biologiques



**Quel rôle pourront jouer les technologues en imagerie médicale dans l'impression 3D ? Savez-vous que certains commencent, dès maintenant, à la considérer comme la future pratique avancée pour les technologues ?**



(bio-encre), pour créer des structures semblables à des tissus biologiques naturels. La matière vivante cellulaire est imprimée à partir de cellules souches et déposée en gouttelettes d'encre biologique qui vont former des couches successives, qui en se superposant constitueront un tissu biologique en trois dimensions. Généralement, elle diffère de l'impression 3D normale dans l'étape de maturation des tissus imprimés. C'est la phase durant laquelle les cellules assemblées évolueront ensemble et interagiront de manière à former un tissu cohérent et viable. Après impression, les tissus sont mis dans un bioréacteur pour développer la vascularisation nécessaire, puis dans un incubateur pour former un tissu cohérent.

La bio-impression peut également dépasser les « spécifications biologiques » des organes, ce qui permet d'incorporer des appareils électroniques dans des tissus vivants pour créer des organes « bioniques ». Des chercheurs ont utilisé avec succès l'impression 3D pour fabriquer une oreille bionique composée de cellules vivantes et de

nanoparticules électroniques. Les cellules ont démontré leur viabilité à différentes étapes de l'étude et les composants électroniques ont permis à l'oreille de recevoir des signaux de l'ordre du hertz au gigahertz. Ainsi la bio-impression nous amène bientôt à l'ère du bio-ionique !

### Rôle du technologue

L'impression 3D a envahi le domaine de la santé d'une façon spectaculaire permettant d'améliorer, dans plusieurs spécialités, la qualité des services aux patients. Pour la majorité des utilisations de cette technologie, l'imagerie médicale demeure la base grâce aux images DICOM générées par les modalités d'imagerie dans nos départements. Nous remarquons donc que cette technologie est à la portée de la main des professionnels de la radiologie, mais les technologues en imagerie médicale seront-ils capables d'y participer ? Quel rôle pouvons-nous jouer ? Savez-vous que certains commencent, dès maintenant, à la considérer comme la future pratique avancée pour les technologues ?

Le processus de modélisation 3D est en étroite relation avec le choix de la modalité d'imagerie, de l'acquisition de qualité supérieure des données, de l'expertise du processus de correction et de raffinement des images en 3D, du choix des logiciels de conversion, du matériau utilisé et de la technologie d'imprimante. Les technologues bénéficient déjà de leurs connaissances en anatomie humaine, en pathologie et des principes de base du fonctionnement des modalités d'imagerie médicale pour participer à ce domaine. Toutefois, ils doivent renforcer leurs compétences par des connaissances en informatique et en manipulation de logiciels leur permettant de réaliser principalement les deux premières étapes d'un projet d'impression 3D en santé, soit l'acquisition et le post-traitement d'images.

Pendant l'acquisition des images, le technologue doit veiller à obtenir une meilleure qualité des images en maîtrisant les différents paramètres techniques. Selon la modalité utilisée, l'essentiel est d'avoir la haute résolution et le meilleur contraste possible des

structures à imager. Dans le processus de post-traitement des images, l'opérateur doit avoir une bonne habileté pour segmenter de façon précise les régions voulues. C'est dans cette étape que le technologue doit maîtriser les différentes opérations de raffinement des os segmentés, par exemple. Le choix du logiciel de segmentation dépend de sa rapidité et de sa capacité à sélectionner les régions d'intérêt. Les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) ou de conversion permettent d'avoir un modèle imprimable. (Figure 19) Il est donc important que le technologue soit familier avec la manipulation des objets 3D et puisse les comparer avec les images anatomiques source. L'étape de l'impression est une étape avancée où le choix du matériau et de la technologie de l'imprimante nécessite une formation approfondie sur la fabrication de prototype par impression 3D.

### Conclusion

Le domaine médical profite actuellement d'une technologie qui permettra une grande amélioration des services de la santé. De l'éducation à l'implantation de modèles qui remplacent les organes, l'impression 3D est une technologie qui s'installe de plus en plus dans nos hôpitaux. (Figure 20) Elle a connu son succès grâce aux images que les technologues en imagerie médicale produisent quotidiennement.

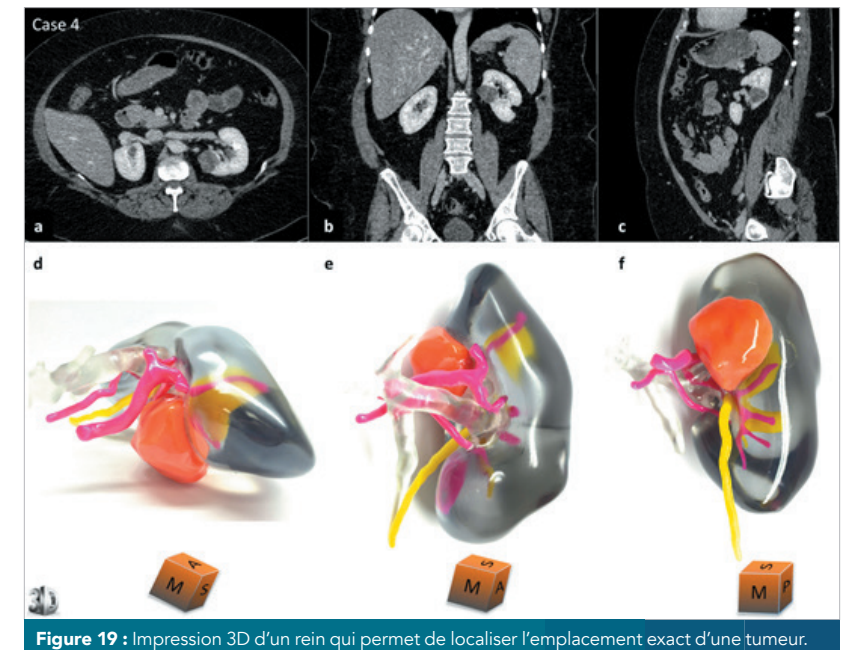


Figure 19 : Impression 3D d'un rein qui permet de localiser l'emplacement exact d'une tumeur.



Figure 20 : L'impression 3D est un outil d'apprentissage important pour les professionnels de la santé.

Certains l'appellent aussi « la technologie du *do it yourself* », les imprimantes 3D sont maintenant disponibles à des prix abordables pour tous et ouvrent plus de possibilités d'innovation et de créativité pour passer à l'étape suivante : l'impression 4D ! En plus de s'inscrire dans les 3 dimensions habituelles, l'impression 4D explore une dimension supplémentaire, celle du temps. (Figure 21) Un objet imprimé en 4D possède en effet une nature qui le fait évoluer, se transformer au fil du temps. La technique n'est pas récente puisque plusieurs chercheurs ont déjà mis au point des matériaux ayant une mémoire des formes ou des matériaux intelligents. Ainsi, certains tissus, au contact de la chaleur ou d'une impulsion électrique, changent de forme ou de consistance et la médecine en profitera grâce, encore, à l'imagerie médicale!<sup>13</sup>

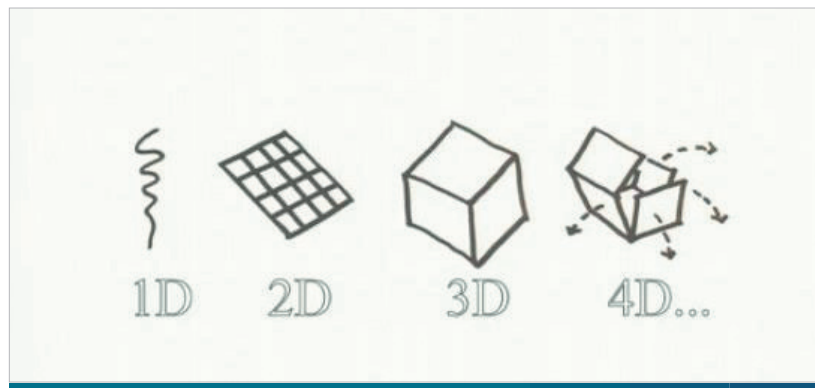


Figure 21 : L'impression 3D n'est qu'une étape d'une évolution normale de la science.

## ERRATUM | ÉCHOS – SEPTEMBRE-OCTOBRE 2018

Une inversion s'est produite dans la présentation de deux figures dans l'article **L'échographie mammaire : quand ? pourquoi ? et, finalement, pourquoi pas ?** de l'édition de septembre-octobre 2018. Voici ce qu'on aurait dû lire.

**Nos excuses à l'auteure, Isabelle Rioux, t.i.m.**

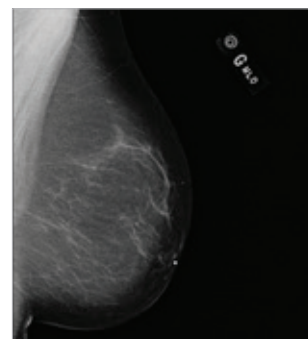


Figure 9 : Mammographie d'un sein grasseux.

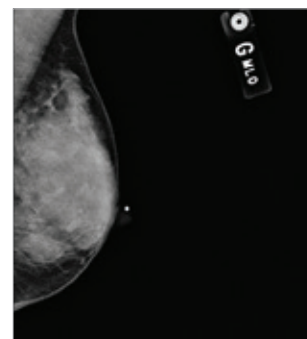


Figure 10 : Mammographie d'un sein dense.

### BIBLIOGRAPHIE

- 1 – Berchon, M. (2013). *L'impression 3D*. (2<sup>e</sup> édition, p. 7). Paris, France : Édition Eyrolles
  - 2 – Berchon, M. (2013). *L'impression 3D*. (2<sup>e</sup> édition, p. 3). Paris, France : Édition Eyrolles
  - 3 – Ghilassene, F. (2014). *L'impression 3D*. Les Dossiers de la Direction des Études de l'INPI Dossier n° 2014 – 04, p. 3.
  - 4 – Ghilassene, F. (2014). *L'impression 3D*. Les Dossiers de la Direction des Études de l'INPI Dossier n° 2014 – 04, p. 5.
  - 5 – RSNA [en ligne], 2015. [radiographics.rsna.org] (Consulté le 16 septembre 2018)
  - 6 – Mitsouras, D, et al. (2015) *Medical 3D Printing for the Radiologist*. radiographics.rsna, 1966.
  - 7 – Mahesh M. *Search for isotropic resolution in CT from conventional through multiple-row detector*. RadioGraphics 2002;22(4):949-962
  - 8 – SERIAL MAKERS. *Les matériaux d'impression 3D*, [en ligne], 2013. [http://serialmakers.com/les-matériaux-dimpression-3d/] (Consulté le 27 septembre 2018).
  - 9 – Berchon, M. (2013). *L'impression 3D*. (2<sup>e</sup> édition, p107). Paris, France : Édition Eyrolles
  - 10 – EIFFEL MEDTECH. Eiffelmedtech, [En ligne], 2018. [http://www.eiffelmedtech.com/] (Consulté le 01 octobre 2018)
  - 11 – Rioux, A. (2018). *Analyse de l'implémentation d'un service d'impression 3D médicale*. Institut de génie biomédical, Université de Montréal, page 5
  - 12 – WIKIPEDIA. *Bio-impression*, [En ligne], 2018. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Bio-impression] (Consulté le 05 octobre 2018)
  - 13 – HUMANOIDES. *L'impression 4D : le futur de l'assemblage*, [En ligne], 2015. [https://humanoides.fr/limpression-4d-futur-assemblage/] (Consulté le 15 octobre 2018)
- 
- 1 – MTI-REVIEW. *Impression 3D : passé l'engouement initial, peut-on encore parler d'une révolution ?* [En ligne], 2017. [https://medium.com/mti-review/impression-3d-pass%C3%A9-lengouement-initial-peut-on-encore-parler-d-une-r%C3%A9volution-b68f34bf03d0] (Consulté le 10 octobre 2018)
  - 2 – Cdiscount. *XYZ Printing Imprimante 3D*
  - 3 – NAIJAGRAPHITTI. *March to inspire : Charles "Chuck" Hull: the father of 3d printing who shaped technology*, [En ligne], 2017. [http://naijagraphitti.blogspot.com/2017/03/march-to-inspire-charles-chuck-hull-the-father-of-3d-printing-who-shaped-technology.html] (Consulté le 10 octobre 2018)
  - 4-A – Appareil de scanner Hôpital de LaSalle
  - 4-B et C – COMSOL. *Mesh and geometry*, [En ligne], 2018. [https://www.comsol.jp/release/5.1/mesh-and-geometry] (Consulté le 10 octobre 2018)
  - 5 – QUORA. *The Additive Manufacturing File format (AMF) is supposed to be a replacement for STL when it comes to sending CAD files to 3D printers. What features would you like to see in CAD that would make 3D printing easier ?*, [En ligne], 2014. [https://www.quora.com/The-Additive-Manufacturing-File-format-AMF-is-supposed-to-be-a-replacement-for-STL-when-it-comes-to-sending-CAD-files-to-3D-printers-What-features-would-you-like-to-see-in-CAD-that-would-make-3D-printing-easier] (Consulté le 10 octobre 2018)
  - 6 – Mitsouras, D, et al. (2015) *Medical 3D Printing for the Radiologist*. Radiographics .rsna, p 1970.
  - 7 – Mitsouras, D, et al. (2015) *Medical 3D Printing for the Radiologist*. Radiographics .rsna, p 1969.
  - 8 – LE CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE. *Impression 3D et risques chimiques*, [En ligne], 2013. [http://www.prc.cnrs.fr/spip.php?rubrique128&lang=fr] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
  - 9 – ALL3DP. *Les 24 meilleurs logiciels pour imprimante 3D gratuits de 2018*, [En ligne], 2018. [https://all3dp.com/fr/1/meilleur-logiciel-imprimante-3d-gratuit-en-ligne/] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
  - 10 – 3DILLA. *Stéréolithographie*, [En ligne], 2018. [http://fr.3dilla.com/imprimante-3d/stereolithographie/] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
  - 11 – PRISMADD. *Technologie SLM*, [En ligne], 2015. [http://prismadd.com/technologie-slm/] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
  - 12 – Mitsouras, D, et al. (2015) *Medical 3D*

- Da Vinci Mini USB 2.0/Wifi 1 Buse PLA, [En ligne], 2018. [https://www.cdiscount.com/informatique/imprimantes-multifonction-fax/xyz-printing-imprimante-3d-da-vinci-mini-usb-2-0-w/f-1071157-davincimini.html#mpos=1lcd] (Consulté le 10 octobre 2018)
- 3 – NAIJAGRAPHITTI. *March to inspire : Charles "Chuck" Hull: the father of 3d printing who shaped technology*, [En ligne], 2017. [http://naijagraphitti.blogspot.com/2017/03/march-to-inspire-charles-chuck-hull-the-father-of-3d-printing-who-shaped-technology.html] (Consulté le 10 octobre 2018)
- 4-A – Appareil de scanner Hôpital de LaSalle
- 4-B et C – COMSOL. *Mesh and geometry*, [En ligne], 2018. [https://www.comsol.jp/release/5.1/mesh-and-geometry] (Consulté le 10 octobre 2018)
- 5 – QUORA. *The Additive Manufacturing File format (AMF) is supposed to be a replacement for STL when it comes to sending CAD files to 3D printers. What features would you like to see in CAD that would make 3D printing easier ?*, [En ligne], 2014. [https://www.quora.com/The-Additive-Manufacturing-File-format-AMF-is-supposed-to-be-a-replacement-for-STL-when-it-comes-to-sending-CAD-files-to-3D-printers-What-features-would-you-like-to-see-in-CAD-that-would-make-3D-printing-easier] (Consulté le 10 octobre 2018)
- 6 – Mitsouras, D, et al. (2015) *Medical 3D Printing for the Radiologist*. Radiographics .rsna, p 1970.
- 7 – Mitsouras, D, et al. (2015) *Medical 3D Printing for the Radiologist*. Radiographics .rsna, p 1969.
- 8 – LE CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE. *Impression 3D et risques chimiques*, [En ligne], 2013. [http://www.prc.cnrs.fr/spip.php?rubrique128&lang=fr] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
- 9 – ALL3DP. *Les 24 meilleurs logiciels pour imprimante 3D gratuits de 2018*, [En ligne], 2018. [https://all3dp.com/fr/1/meilleur-logiciel-imprimante-3d-gratuit-en-ligne/] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
- 10 – 3DILLA. *Stéréolithographie*, [En ligne], 2018. [http://fr.3dilla.com/imprimante-3d/stereolithographie/] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
- 11 – PRISMADD. *Technologie SLM*, [En ligne], 2015. [http://prismadd.com/technologie-slm/] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
- 12 – Mitsouras, D, et al. (2015) *Medical 3D*

- Printing for the Radiologist. Radiographics .rsna, p 1975.
- 13 – ADDITIVERSE. *Des implants crâniens imprimés en 3D*, [En ligne], 2015. [http://www.additiverse.com/des-neurochirurgiens-russes-utilisent-des-implants-craniens-imprimes-en-3d/] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
- 14 – SCIENCES ET AVENIR. *L'impression 3D repousse les limites de la chirurgie*, [En ligne], 2015. [https://www.sciencesetavenir.fr/sante/limpression-3d-repousse-les-limites-de-la-chirurgie\_29671] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
- 15 – CAD VISION. *Impression 3D de valves cardiaques pour planifier des chirurgies*, [En ligne], 2018. [https://www.cadvision.fr/etude-cas/impression-3d-valves-cardiaques-planifier-chirurgies] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
- 16 – LE QUAY ORTHOPÉDIE. *Un premier implant vertébral imprimé en 3D... et en français !*, [En ligne], 2018. [https://lequay-orthopedie.fr/fr/content/71-un-premier-implant-vertebral-imprime-en-3d-et-francais-] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
- 17 – 3DNATIVES. *Des chercheurs français impriment en 3D un cerveau fonctionnel*, [En ligne], 2018. [https://www.3dnatives.com/cerveau-imprime-en-3d-01042018/0/] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
- 18 – PARIS MATCH. *Bio-impression 3D : une oreille artificielle et vivante !*, [En ligne], 2016. [https://www.parismatch.com/Actu/Sciences/Bio-impression-3D-une-oreille-artificielle-et-vivante-1081273] (Consulté le 1<sup>er</sup> octobre 2018)
- 19 – ADDITIVERSE. *L'impression 3D et cancer du rein*, [En ligne], 2016. [http://www.additiverse.com/impression-3d-et-cancer-du-rein-temoignage-du-dr-bernhard/] (Consulté le 5 octobre 2018)
- 20 – 3D PRINTING INDUSTRY. *Stratasys unveils New J750 multi-color multi-material 3D printer*, [En ligne], 2018. [https://3dprintingindustry.com/news/stratasys-unveils-new-j750-multi-color-multi-material-3d-printer-75758/] (Consulté le 5 octobre 2018)
- 21 – MonUnivers3D. *Après l'impression 3D... l'impression 4D !*, [En ligne], 2014. [http://www.monunivers3d.com/4018/] (Consulté le 15 octobre 2018)



# Intelligence artificielle et maladie cardiovasculaire : Amies ou ennemies ?

**Quand les technologies de l'information modifieront nos professions médicales.**

La reproduction de cet article, qui a originalement été publié dans: Jens Bremerich, Rodrigo Salgado (eds) (2018) The heart revealed. Radiology in the diagnosis and management of cardiac conditions. European Society of Radiology (ESR), Vienna. ISBN 978-3-9504388-5-7 a été autorisée par Tim Leiner.



**Professeur Tim Leiner**  
MD, Ph. D., EBCR, FSCCT, FSCMR, FISMRR.  
Professeur de radiologie du département de radiologie de l'Utrecht University Medical Center à Utrecht, aux Pays-Bas



**Dr Jelmer M. Wolterink**  
Chercheur postdoctoral au Image Sciences Institute, University Medical Center Utrecht aux Pays-Bas.



**Dre Ivana Išgum**  
Image Sciences Institute de l'University Medical Center Utrecht, Pays-Bas

Actuellement, dans le cadre d'évènements scientifiques sont programmées des sessions et des conférences sur l'intelligence artificielle (IA), l'apprentissage automatique ou l'apprentissage en profondeur. Ces technologies ont un impact considérable dans de nombreux domaines de la vie, comme la recherche sur Internet, la traduction d'une langue, en passant par la découverte du boson de Higgs... Il est certain qu'elles modifieront considérablement aussi les professions médicales.

Des disciplines telles que la radiologie et la pathologie sont particulièrement bien adaptées à l'application de l'IA, car ces spécialités travaillent maintenant presque exclusivement avec des images numériques qui sont compatibles avec l'analyse informatisée. Dans cet article, nous essaierons de présenter quelques concepts de base et d'imaginer l'impact de ces développements en imagerie cardiovasculaire.

## Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ? Quelques concepts de base

L'intelligence artificielle peut être définie comme étant un système informatique capable d'effectuer des tâches nécessitant normalement une intelligence humaine. L'apprentissage automatique (*Machine Learning [ML]*) fait référence à une branche de l'IA dans laquelle les ordinateurs sont formés pour prendre une décision basée sur des données, sans être programmés avec des règles explicites. En d'autres termes, il n'est pas nécessaire de définir toutes les caractéristiques pertinentes associées à une certaine condition ou maladie dans le programme informatique, l'ordinateur en tire des exemples. Afin de mieux comprendre le fonctionnement de ML, il est important de passer brièvement en revue les principales différences dans la manière dont les algorithmes de ML sont formés.

Les algorithmes de ML peuvent être formés de différentes

manières, en fonction de la disponibilité des données étiquetées. L'apprentissage supervisé (*Supervised Learning*) consiste à former un algorithme basé sur un grand nombre d'exemples étiquetés, par exemple la présence ou l'absence de sténose coronaire dans un ensemble d'images de tomodensitométrie coronarienne. Un modèle ou un classifieur est construit sur la base de données d'apprentissage. Il peut traiter de nouvelles données coronariennes inédites et générer un résultat indiquant si une sténose est présente ou non. À l'inverse, l'apprentissage non supervisé (*Unsupervised Learning*) ne s'appuie pas sur des données étiquetées, mais cherche à trouver des modèles dans les données.

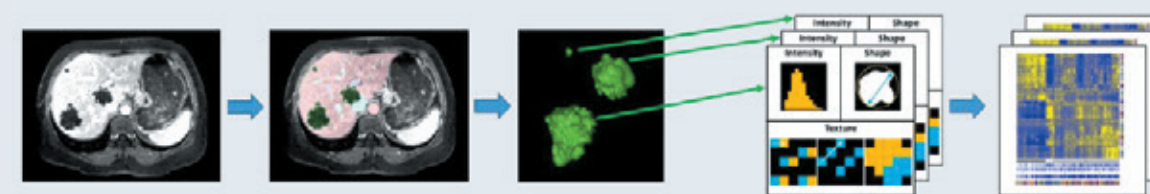
Sur la base de ces modèles observés, il est possible d'identifier tous les groupes et de regrouper ceux qui sont similaires et de séparer les autres. Par la suite, un modèle peut être créé permettant d'affecter une appartenance à un groupe connu ou à de nouvelles données invisibles.

Il existe une gamme de paradigmes entre l'apprentissage supervisé et l'apprentissage non supervisé. Dans certains cas, des étiquettes peuvent être disponibles, par exemple concernant le patient, mais pas le vaisseau. Trouver un vaisseau avec une sténose est alors classé comme un apprentissage faiblement supervisé. Dans d'autres cas, des étiquettes peuvent être disponibles pour un sous-ensemble de données d'apprentissage qui peuvent ne pas être suffisantes pour une classification précise. Ceci est appelé apprentissage semi-supervisé.

Les techniques modernes de l'apprentissage automatique diffèrent par la façon dont l'information est extraite dès le début. «Radiomics» est un processus qui fait généralement référence à l'apprentissage supervisé. Il consiste à extraire un grand nombre de caractéristiques quantitatives à partir d'images radiologiques et de les classifier ultérieurement à l'aide d'un classificateur ML pour établir un diagnostic ou effectuer une prédiction.

**Actuellement, la méthode standard pour évaluer la nature d'une tumeur (phénotype) consiste à effectuer une biopsie et à réaliser une analyse anatomopathologique sur les tissus prélevés. Cette méthode souffre de plusieurs inconvénients. La biopsie, geste invasif, peut être compliquée, voire impossible à réaliser en raison de difficultés d'accès à la tumeur. L'analyse anatomopathologique, quant à elle, est toujours restreinte à une partie localisée de la tumeur, alors que celle-ci est constituée de tissus extrêmement hétérogènes. Pour pallier ces défauts, une nouvelle méthode, nommée radiomics, s'appuyant sur des techniques avancées d'imagerie (non invasives), propose de caractériser les tumeurs uniquement à partir de l'image acquise. Des algorithmes d'extraction en masse de descripteurs d'images sont associés à des méthodes de Machine Learning (apprentissage, classification) sur les tumeurs segmentées par un radiologiste, afin de déterminer automatiquement le phénotype (nature, grade = degré de gravité) de cette dernière.**

### Procédure d'extraction par Radiomics pour les tumeurs du poumon





**Figure 1:** Les réseaux de neurones sont constitués de couches d'entrée sur lesquelles les signaux d'entrée sont bloqués et masqués et ceux de sortie contenant des éléments de traitement transformant l'entrée de la couche précédente à l'aide de fonctions d'activation non linéaires. De cette façon, l'entrée est transformée en sortie souhaitée, telle qu'une étiquette de classification.

Un problème important lié aux radiomics : plusieurs fonctionnalités extraites peuvent être redondantes ou sous-optimales pour la tâche à accomplir. En revanche, les techniques d'apprentissage profond (*Deep Learning [DL]*) extraient des caractéristiques descriptives à partir de données à des niveaux d'abstraction croissants et les utilisent immédiatement pour la tâche de classification donnée. Les techniques DL les plus courantes sont basées sur des réseaux de neurones à convolution artificielle (*Artificial Convolutional neural [CNN]*) avec plusieurs couches (également appelées « couches cachées ») entre les couches d'entrée et de sortie. **(Figure 1)** Au cours des dernières années, il est devenu évident que la DL était très bien adaptée à de nombreuses tâches importantes en

radiologie, telles que la détection d'anomalies sur les images, la délimitation de structures anatomiques ou la classification des résultats.

### L'intelligence artificielle et l'imagerie cardiovasculaire

L'intelligence artificielle a de nombreuses utilisations potentielles en imagerie cardiovasculaire. Bien que la détection d'anomalies et l'interprétation des images soient les premières applications possibles, l'impact sera beaucoup plus vaste. Pratiquement toutes les étapes du flux de travail radiologique, de l'aide à la décision en ce qui concerne l'indication de la réalisation d'un examen d'imagerie, à la prévision du pronostic à partir des images obtenues, peuvent être améliorées grâce à

l'apprentissage automatique. Nous examinons brièvement la façon dont l'apprentissage automatique peut potentiellement être utilisé en pratique clinique.

### Aide à la décision

La médecine cardiovasculaire est de plus en plus guidée par des lignes directrices. De nombreuses sociétés professionnelles ont publié des lignes directrices dans le but de fournir aux patients présentant une maladie cardiovasculaire suspectée ou connue des soins standardisés et fondés sur des preuves. L'utilisation de cette information en pratique clinique peut être une tâche décourageante. La Société européenne de cardiologie énumère actuellement 49 catégories de lignes directrices, par exemple.

Il va de soi qu'aucune personne ne peut maîtriser quotidiennement les subtilités de toutes ces directives. Les systèmes d'aide à la décision basés sur l'apprentissage automatique devraient aider le clinicien et le radiologue à choisir les meilleurs examens d'imagerie par patient.

### Acquisition d'images

Les fournisseurs de matériel vendent maintenant les premiers produits commerciaux basés sur l'intelligence artificielle qui aident le technologue à choisir le protocole d'imagerie optimal pour chaque patient, notamment le site et l'ampleur précis de l'acquisition d'images. L'identification automatisée du cœur et la détermination des plans à scanner sont maintenant possibles. Cela peut être

particulièrement avantageux pour les technologues moins expérimentés, que ce soit pour un examen de contrôle, de routine ou pour des cas complexes.

### Reconstruction d'images et amélioration de sa qualité

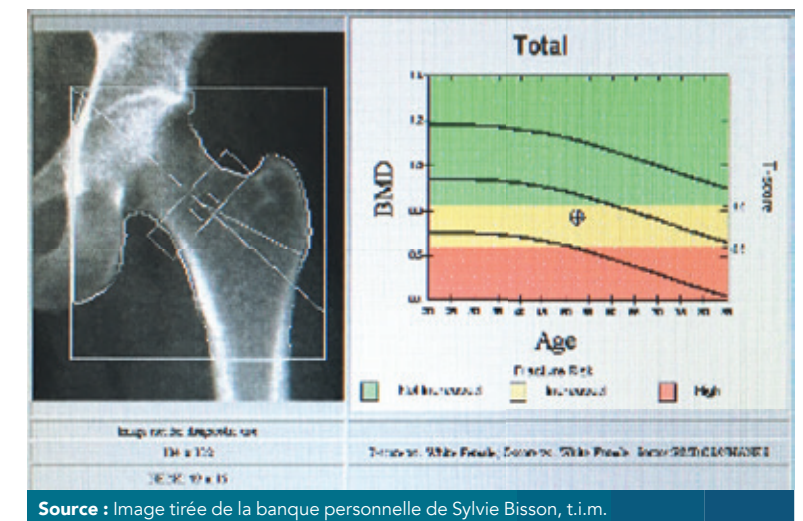
L'apprentissage automatique est très prometteur dans la reconstruction d'images en tomodensitométrie et en IRM. L'apprentissage en profondeur avec des neurones à convolution artificielle (CNNs) a été appliqué avec succès pour la reconstruction très rapide d'acquisitions très accélérées d'IRM cardiaques, en tant qu'alternative aux méthodes de pointe beaucoup plus lentes, telles que la *Compressed Sensing*. L'apprentissage en profondeur a également été appliqué à la

## Précision du Service d'inspection professionnelle...

concernant une image dans l'article **La voleuse silencieuse : comment diagnostiquer l'ostéoporose ?** de l'édition de septembre-octobre 2018.

Voici l'image d'une hanche qui rencontre les critères d'un bon balayage :

- hanche bien au centre du champ de balayage
- fémur bien droit
- petit trochanter à peine visible
- aucun mouvement
- aucun artefact



Source : Image tirée de la banque personnelle de Sylvie Bisson, t.i.m.





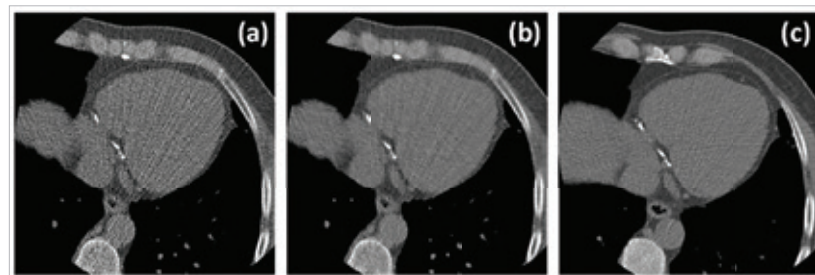
reconstruction d'images en scanner. Plusieurs groupes de recherche ont montré qu'il était possible de reconstituer des images scanographiques de haute qualité du cœur à partir d'acquisitions à faible dose avec une dose de rayonnement inférieure de 80%. (Figure 2)

### Post-traitement et analyse d'images

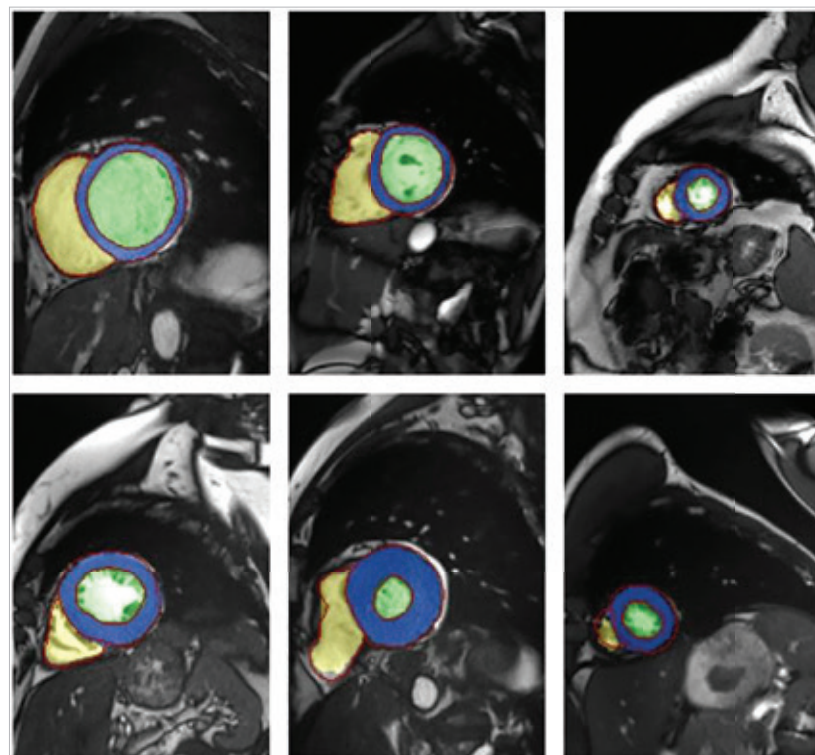
L'une des applications les plus évidentes de l'apprentissage automatique et de l'apprentissage approfondi en imagerie cardiovasculaire est le post-traitement et l'analyse d'images. L'une des tâches les plus importantes et les plus laborieuses en IRM cardiaque est le contournage des ventricules gauche et droit à la fin de la systole et de la diastole pour d'obtenir des fractions d'éjection cardiaque et une masse myocardique. (Figure 3) De nombreux groupes de recherche ont maintenant montré que ce processus peut être entièrement automatisé avec des résultats extrêmement fiables à l'aide d'algorithmes ML, et plusieurs logiciels commerciaux ont déjà incorporé cette technologie. Une autre application de l'imagerie cardiovasculaire qui nous vient à l'esprit est la détermination automatisée des volumes aortiques pour déterminer le degré de dilatation dû au pompage du cœur ou pour évaluer le volume et le taux de croissance d'une aorte anormalement dilatée ou anévrysmale.

### Interprétation et diagnostic

Les chercheurs tentent maintenant de générer des rapports de radiologie complets uniquement à partir



**Figure 2 :** Des méthodes d'apprentissage en profondeur peuvent être utilisées pour transformer une image CT acquise à une dose extrêmement faible (20% de la dose de routine) en une image de haute qualité ressemblant à une image du même patient acquise à une dose de routine. (a) Image acquise à 20% de la dose (b) La même image après traitement par apprentissage approfondi (c) Image acquise à 100% de dose.



**Figure 3 :** Résultats de la segmentation entièrement automatique de la cavité ventriculaire gauche (en vert), du myocarde ventriculaire gauche (en bleu) et de la cavité ventriculaire droite (en jaune) dans le ciné cardiaque MR. Les annotations de référence manuelles sont indiquées en rouge.

d'images. Les algorithmes DL sont formés à cette tâche en leur montrant des ensembles de données volumineux comprenant des centaines de milliers, voire des millions, de combinaisons d'imagerie et de rapports de radiologie correspondants. Bien que cela n'ait pas été tenté spécifiquement en radiologie cardiovasculaire, il est prévu que cela se produira dans l'avenir. Cependant, chez de nombreux patients, les informations obtenues à l'aide de tests d'imagerie cardiaque ne représentent qu'une partie du tableau clinique global.

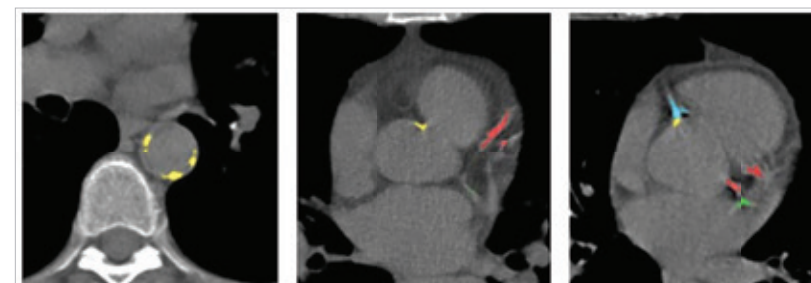
### Dépistage et pronostic

L'une des applications les plus prometteuses de l'IA et du ML en imagerie cardiovasculaire est la détection, la quantification et le compte rendu entièrement automatisés des informations pronostiques pertinentes. Il peut s'agir d'informations plus détaillées relatives au problème clinique pour lequel l'imagerie a été demandée, mais également d'informations visibles sur les images en dehors de l'organe considéré. Par exemple, il a été démontré qu'une analyse plus détaillée des

mouvements cardiaques chez les patients souffrant d'hypertension artérielle pulmonaire avait une meilleure valeur prédictive des résultats indésirables par rapport à la fraction d'éjection ventriculaire droite actuellement utilisée à cette fin. Un autre exemple, l'identification entièrement automatisée des calcifications vasculaires dans les examens de scanner de dépistage du cancer du poumon. (Figure 4)

### Combinaison d'imagerie avec d'autres sources de données

Un dernier domaine dans lequel l'IA peut être très utile dans l'avenir : il consiste à combiner les résultats d'examen d'imagerie avec d'autres données telles que les informations contenues dans les dossiers de santé électroniques, les données de laboratoire, les analyses génétiques et l'utilisation de médicaments. La combinaison de ces données permettra, par exemple, de mieux comprendre les combinaisons de variables cliniques qui sont associées à certains résultats d'imagerie ou à l'efficacité et aux effets indésirables de nouveaux médicaments cardiovasculaires.



**Figure 4 :** Calcifications entièrement automatiques dans l'aorte thoracique et les artères coronaires dans le scanner thoracique. Jaune : aorte thoracique, rouge : artère descendante antérieure gauche, vert : artère circonflexe gauche, bleu : artère coronaire droite.

### L'intelligence artificielle, une amie ou ennemie ?

La manière dont la radiologie est pratiquée changera fondamentalement au cours des prochaines années à mesure que les algorithmes ML et DL entreront dans la pratique clinique. Il n'y a aucun doute que certaines tâches qui sont maintenant effectuées par des radiologues ou des technologues le seront prochainement par l'ordinateur. Cependant, nous sommes fermement convaincus que l'intelligence artificielle offre la possibilité de rendre les radiologues plus précis et plus productifs, et de fournir de meilleurs soins sur mesure, adaptés à chaque patient. L'intelligence artificielle deviendra rapidement l'une de nos meilleures amies.

### RÉFÉRENCES

(Encadré et Fig1) : IRCAD FRANCE. Radiomics : une approche innovante pour la caractérisation des tumeurs par analyse d'images : application aux tumeurs hépatiques, [En ligne], 2017. [https://www.ircad.fr/wp-content/uploads/2014/09/2016-2017-IRCAD\_RADIAL.pdf (le 28-10-2018)] (Consulté le 10 octobre 2018)

Langs G, Röhrich S, Hofmanninger J, Prayer F, Pan J, Herold C, Prosch H. Machine learning: from radiomics to discovery and routine. Radiologe 2018 Jun 19. doi: 10.1007/s00117-018-0407-3 [Epub ahead of print].

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 Jun 26. doi: 10.1148/radiol.2018171820 [Epub ahead of print].

Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, et al. A survey on deep learning in medical image analysis. Med Image Anal 2017;42:60-88.

Dreyer KJ and Geis JR. When machines think: Radiology's next frontier. Radiology 2017;285:713-718.

Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics: Images are more than pictures, they are data. Radiology 2016;278:563-77.

# La civière ergonomique

**AU PROFIT DU TECHNOLOGUE  
EN IMAGERIE MÉDICALE - ÉCHOGRAPHIE**

**La civière ergonomique doit évoluer selon les types d'examens et selon plusieurs autres facteurs, dont le vieillissement de la population.**



Luc Mainville,  
t.i.m., d.a.a.

Assistant-chef  
en radiologie

CIUSSS du Nord  
de l'île de Montréal,  
Hôpital Jean-Talon

## Préface

Le mot brancard fut longtemps utilisé pour représenter ce que nous connaissons aujourd'hui, dans le milieu médical, comme étant la civière. L'imagerie médicale est depuis les 20 dernières années un milieu en constante évolution avec, entre autres, des appareils d'échographie de plus en plus performants par rapport à différentes facettes: la console, l'écran, les sondes, etc. La civière ergonomique, elle, doit suivre le même parcours et parvenir à évoluer selon les types d'examens et selon plusieurs autres facteurs, dont le vieillissement de la population.

## Objectif

Mon objectif était d'avoir une civière ergonomique avec des spécifications adaptées afin que le technologue puisse travailler dans des positions ergonomiques, avec une civière facilement adaptable aux besoins du technologue ou à celui de l'utilisateur. Il est connu que dans notre profession, les problèmes musculo-squelettiques<sup>1</sup>, tels que les douleurs au cou, aux bras, aux épaules, aux coudes et au dos sont fréquents; c'est une raison importante de vouloir un produit à notre image.

<sup>1</sup> ASSTSAS <http://coin.documentaliste.asstsas.com/incidence-de-troubles-musculosquelettiques-chez-le-personnel-en-echographie/> (consulté le 26 octobre 2018)

**Mon objectif était d'avoir une civière ergonomique avec des spécifications adaptées afin que le technologue puisse travailler dans des positions ergonomiques.**



**Figure 1 :** Civière pour le secteur de l'échographie à l'étape finale.



**RD Pourquoi vouloir développer une civière ?**

L'idée de développer une civière était de répondre aux besoins de l'utilisateur, du technologue et du radiologiste puisque celles qui étaient sur le marché ne répondaient pas aux à nos exigences au sein du service d'échographie. Après avoir fait une analyse de ce que le marché offrait et avoir fait plusieurs demandes de renseignements auprès des compagnies établies dans le milieu, je me suis aperçu qu'il y avait possibilité de faire évoluer le modèle de civière conventionnel. Avec l'aide du Bureau de santé de notre CIUSSS, l'ASSTSAS et la compagnie CARDON, nous avons réussi à développer un produit innovant, de qualité, et ce, à un coût intéressant. Ce nouveau modèle de civière répond davantage aux besoins des différents intervenants du secteur de l'échographie.

**Développement du produit**

Nous avons observé les avantages et les inconvénients d'une civière standard et pris en compte les éléments pouvant l'améliorer et faciliter le travail des professionnels ainsi qu'améliorer le confort de l'utilisateur dans un endroit restreint. Après quelques semaines de travail, les technologues du secteur de l'échographie sont venus à la conclusion que, selon le type d'examen que nous effectuons et le profil de patients dans notre service, une liste de modifications au modèle conventionnel de civière était nécessaire. Nous avons donc procédé avec la compagnie manufacturière à une série de modifications pour permettre le développement d'un modèle optimal.



**Figure 2 :** Ajustement de la hauteur de la table à l'aide d'un dispositif au pied.



**Figure 3 :** Examen Doppler MIG.

**Nous avons observé les avantages et les inconvénients d'une civière standard et pris en compte les éléments pouvant l'améliorer et faciliter le travail des professionnels ainsi qu'améliorer le confort de l'utilisateur dans un endroit restreint.**

Selon l'évaluation de Sylvie Bédard de l'ASSTSAS, voici les principaux avantages de la nouvelle civière pour des technologues et des patients<sup>ii</sup> :

1. Le contrôle de la hauteur de la civière peut se faire à l'aide de deux mécanismes :
  - a. Une manette avec un fil dans la portion supérieure de la civière.
  - b. Deux zones distinctes de boutons déclencheurs sur les tubes de la base de la civière (sur le côté gauche et au pied de la civière) qui se contrôlent à l'aide du pied et qui permettent de se positionner à la bonne hauteur.
2. La présence d'une demi-ridelle, côté « mur », pour permettre aux patients de se déplacer ou de maintenir une posture.
3. La chaise du technologue peut être placée contre la civière sans que la base de la civière fasse obstacle, ce qui lui permet d'être plus près du patient. **(Figure 2)**
4. Le déplacement de la civière vide est facile.
5. Les freins sont situés au pied de la table. Le mécanisme de frein peut être actionné facilement et les quatre freins se barrent de façon automatique.
6. La partie de la table au niveau du pied se rabaisse, ce qui permet au technologue d'effectuer les examens Doppler des membres inférieurs. **(Figure 3)** La section doit être abaissée pour faciliter l'accès et permettre d'effectuer les examens de Doppler des membres inférieurs.
  - a. Pour améliorer la posture du technologue, l'ASSTSAS recommande de réaliser les Dopplers au bout de la civière, avec un petit banc pour les pieds du client, de rapprocher l'appareil et d'ajuster la chaise du professionnel pour une posture confortable du dos (en appui) et des bras (les coudes près du corps).
7. Revêtement : la table est recouverte dans son ensemble de matériel lisse qui rend la désinfection facile.

<sup>ii</sup> Sylvie Bédard, Évaluation de la civière en échographie site Jean-Talon, ASSTSAS, 2017



## Liste des critères lors de l'achat des nouveaux appareils d'échographie

Il existe plusieurs éléments qui font en sorte que le technologue et le patient bénéficient de l'avancement de la technologie. Selon Lisette Duval de l'ASSTSAS, voici quelques points à considérer lors de l'achat d'un nouvel appareil d'échographie<sup>iii</sup>.

### L'appareil d'échographie

- Compact, léger et muni de barres de poussée pour le déplacement aisé de l'appareil près de la civière.
- Ajustement de la qualité de l'image pour le repérage des zones à examiner.
- Manettes d'ajustement automatique de la hauteur accessibles par le technologue placé devant l'appareil.
- Outils informatiques performants pour l'optimisation des entrées au moyen des touches (ex. : fixer les images, prendre les mesures) et pour limiter les manipulations à la console.
- Logiciels intégrés pour les mesures complémentaires après l'examen.
- Freins centralisés.
- Quatre roues pivotantes, dont au moins une est dotée d'un mécanisme unidirectionnel facilement accessible pour le déplacement de l'appareil en ligne droite.
- Appuie-pieds.

### La console

- Ajustement sans effort et indépendant de la hauteur, de la profondeur et de la rotation latérale de la console afin que le technologue la rapproche de lui, conserve les coudes près du corps et ait les épaules relâchées pour manipuler les touches et les boutons.
- Dégagement en hauteur qui assure un espace suffisant pour les jambes du technologue même en position assise haute.
- Appui pour les avant-bras et les poignets lors de la manipulation des touches et des boutons.
- Touches et boutons les plus utilisés accessibles et visibles dans la pénombre.
- Configuration des touches et des boutons de la console identique à celle de la barre de menu à l'écran.



**Figure 4 :** Le vieillissement démographique : dans un groupe de personnes âgées de 65 ans et plus, nombre de personnes âgées de plus de 85 ans.

### L'écran

- Ajustement facile en hauteur, en profondeur, en inclinaison et latéralement.
- Mécanisme d'ajustement de la hauteur de l'écran indépendant de celui de l'appareil.
- Écran plat et mat, haute résolution, rapport de contraste et luminosité réglables pour la facilitation de la prise de mesures et la lecture.
- Dispositif permettant le réglage de l'affichage.

### Les sondes

- Légères et adaptées aux caractéristiques des examens.
- Souples, antidérapantes et permettant une prise palmaire pour exercer une bonne force.
- Configuration qui permet de garder le poignet dans le même axe que l'avant-bras
- Sonde multicoups qui limite l'utilisation des molettes avec le poignet en flexion pour la tourner.

### Clientèle vieillissante

Selon l'analyse de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), les statistiques démontrent que lorsque nous effectuons une analyse sur un groupe de personnes âgées de 65 ans et plus, il y a 1 personne sur 6 dont l'âge est de plus de 85 ans. Selon la même analyse, le taux augmentera à 1 personne sur 4 d'ici 2031. **(Figure 4)**

### Conclusion

En terminant, je conclus sur une note positive. Ce projet m'a permis de réaliser les étapes importantes d'essais et erreurs que nous pouvons rencontrer pour rendre cette civière à niveau de qualité supérieure que celles offertes présentement sur le marché. Il s'est passé plus de deux ans d'élaboration et de conception pour en arriver à un produit intéressant à un coût abordable. Ma vision principale était de développer un produit que les technologues qui travaillent en échographie allaient apprécier tous les jours et, en même temps, qui répondrait à la clientèle vieillissante que nous aidons tous les jours. Je suis convaincu que cette nouvelle version de civière pourra évoluer en s'adaptant au milieu et permettra de laisser sa marque.

### RÉFÉRENCES

Institut national de la santé publique.  
Inspq.qc.ca  
Compagnie Cardon. [www.cardonrehab.com](http://www.cardonrehab.com)  
Institut de la statistique du Québec, 2012. *Le vieillissement démographique: de nombreux enjeux à déchiffrer.*

### FIGURES

**1** – Civière d'échographie à l'étape finale – département de radiologie, hôpital Jean-Talon  
**2** – Civière d'échographie – département de radiologie, hôpital Jean-Talon  
**3** – Examen Doppler MIG – département de radiologie, hôpital Jean-Talon  
**4** – Institut de la statistique du Québec, 2012. *Le vieillissement démographique: de nombreux enjeux à déchiffrer*

### REMERCIEMENTS

Un remerciement spécial aux technologues d'échographie de l'Hôpital Jean-Talon qui ont contribué au succès de ce projet.

<sup>iii</sup> Lisette Duval, *Critères de choix des nouveaux appareils d'échographie*, op vol. 40 n4, ASSTSAS, 2017



# Le tomодensitomètre double énergie en planification de traitement

La technologie en imagerie médicale ne cesse de s'améliorer. Le tomодensitomètre à double énergie (DECT), qui est un appareil qui a été commercialisé il y a de cela quelques années, en est un bon exemple. La théorie sur cette technologie avait déjà été expliquée il y a plusieurs décennies, mais maintenant qu'elle est disponible en clinique, qu'en fait-on réellement en radio-oncologie ?

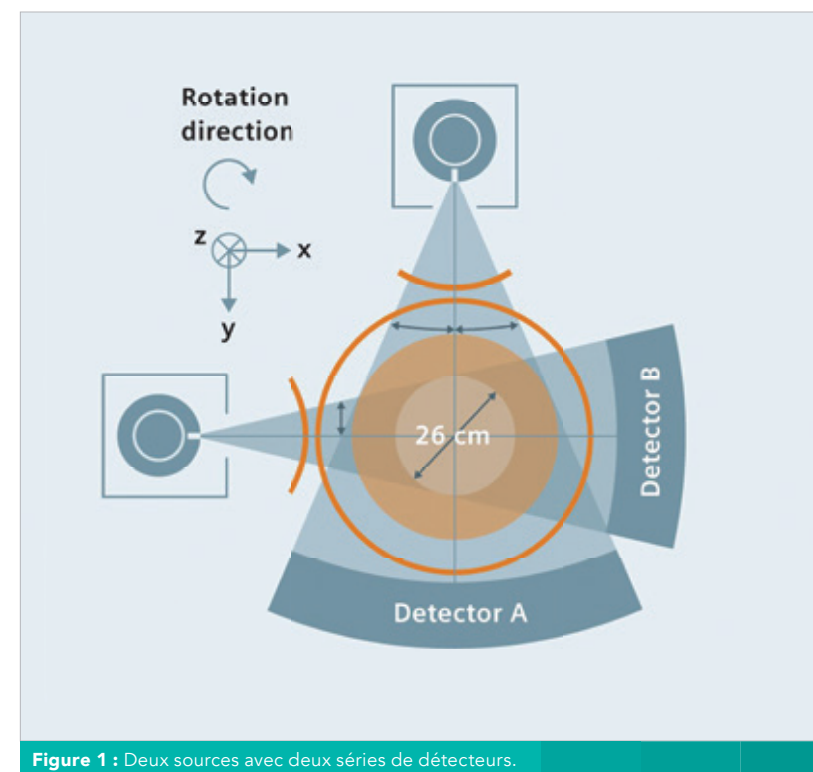


Daisy Poulin Robert, t.r.o.  
Planification CHUM

L'arrivée d'un scanner à double énergie, Somatom Definition Flash de Siemens, fit son entrée au département de radio-oncologie du CHUM à l'été 2013 grâce aux dons de nos radio-oncologues. Voilà maintenant cinq ans que nous l'utilisons pour la planification des traitements de radiothérapie. Je vous présenterai ce qu'est un tomодensitomètre double énergie, ses applications possibles ainsi que les bénéfices de cet appareil pour l'avenir de la radio-oncologie.

## Comment le DECT fonctionne-t-il ?

Tout d'abord, je crois qu'il est important de faire la distinction entre un TDM à double énergie et un TDM à double source.



Deux séries de données brutes acquises simultanément peuvent donner un plus large éventail d'information aux médecins.

Le premier appareil fait l'acquisition des images grâce à deux énergies différentes. Ces images pourraient être obtenues par deux passages successifs avec deux énergies différentes. Dans notre cas, nous utilisons la technologie de Siemens (*Somatom Definition Flash*) qui nous permet d'acquérir les données de façon simultanée.<sup>1</sup> (Figure 1) Le scanner double énergie, de la compagnie Siemens, nous permet de faire des images ainsi, puisqu'il possède deux tubes à rayons X. Il est donc également double source.

Il existe d'autres façons d'acquérir ces images avec d'autres compagnies. Par exemple, GE (General Electric) et Toshiba ont un seul tube à rayons X et ils changent la tension en alternance pour atteindre le même but. La compagnie Philips utilise aussi un scanner simple source, avec un faisceau polychromatique, mais possède deux couches de détecteurs traitant chacune un niveau d'énergie.<sup>2</sup>

Le TDM à double source produit une exposition par deux tubes à rayons X ayant la même tension et étant capté par deux détecteurs

différents. Chaque couple-détecteurs permet alors de générer des images très rapidement, deux fois plus vite qu'à un seul tube.<sup>1</sup> (Figure 2) L'imagerie cardiaque et pédiatrique pour les patients victimes de traumatismes est alors plus accessible grâce à une excellente résolution temporelle.

Le scan double énergie possède deux tubes à rayons X et deux séries de détecteurs. Il peut acquérir les données, à deux tensions kV différentes ou non, de façon simultanée. (Figure 3) Deux séries de données brutes acquises



simultanément peuvent donner un plus large éventail d'information aux médecins.<sup>1</sup> Le filtre à photons additionnel du tube à haute énergie réduit les photons de basses énergies. Le spectre des photons est donc plus distinct que celui émis par le tube de basse énergie. En éliminant le chevauchement spectral, nous pouvons maximiser le potentiel de l'outil. (Figure 4)

Par exemple, le premier tube peut générer une énergie de 80 kV et le deuxième tube une énergie de 140 kV. Lorsque nous utilisons la double énergie, nous faisons deux acquisitions indépendantes que nous pourrions ensuite combiner. Donc, le scan emmagasine deux séries de données brutes : A et B. La combinaison s'effectue à la suite de la reconstruction des images. L'image mixte est comparable à un scan qui serait fait avec une énergie de 120 kV,  $A + B = M$ . De plus, nous pouvons moduler le courant généré par chaque tube afin de ne pas irradier davantage notre patient. Cela signifie que tous les avantages diagnostiques de la double énergie sont maintenant disponibles avec la même dose qu'un balayage à simple énergie. (Figure 3)

### Les images de double énergie et de double sources

La différence d'atténuation des rayons X est à la base des images tomodensitométriques pour la différenciation des tissus corporels, la détection des lésions et la caractérisation de celles-ci. Le coefficient d'atténuation d'un élément dépend de sa masse atomique. Celle de l'iode, du calcium et du gadolinium est élevée. Tandis que la masse atomique de l'hydrogène (H), du carbone (Ca), de l'azote (N) et de l'oxygène (O) est faible. Ce sont les composants principaux des tissus mous.<sup>2</sup>

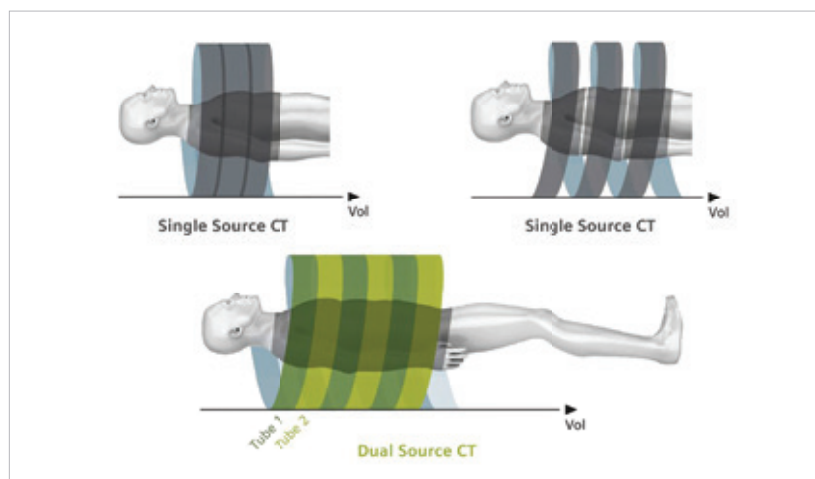


Figure 2 : L'utilisation simultanée des deux tubes permet d'accélérer le temps d'un scan.

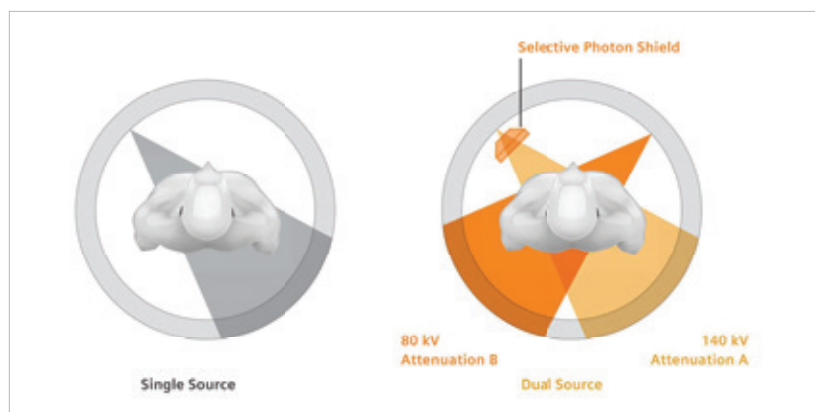


Figure 3 : Deux tubes de différentes énergies avec deux séries de détecteur associés.

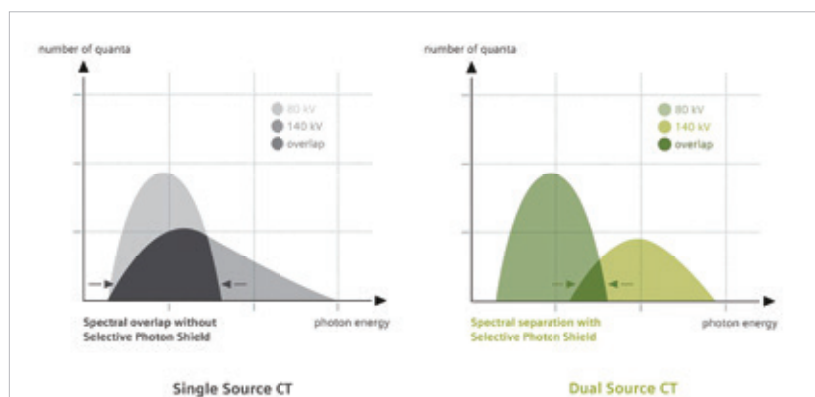


Figure 4 : Chevauchement spectrale des photons avec et sans le filtre à photon additionnel du tube à haute énergie.

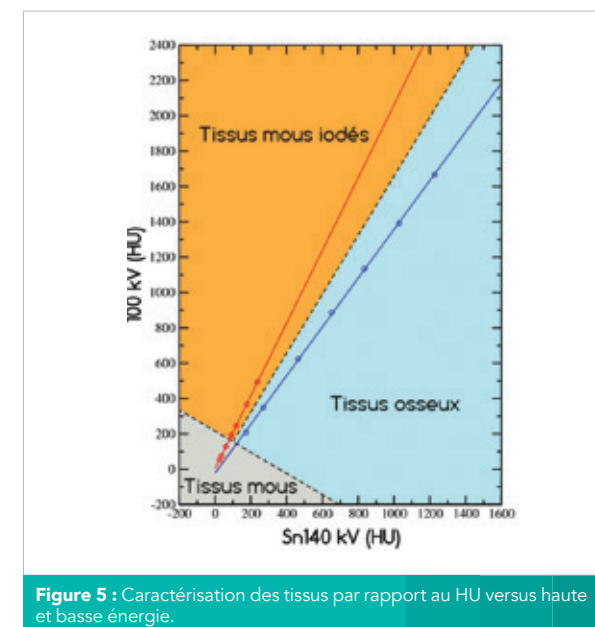
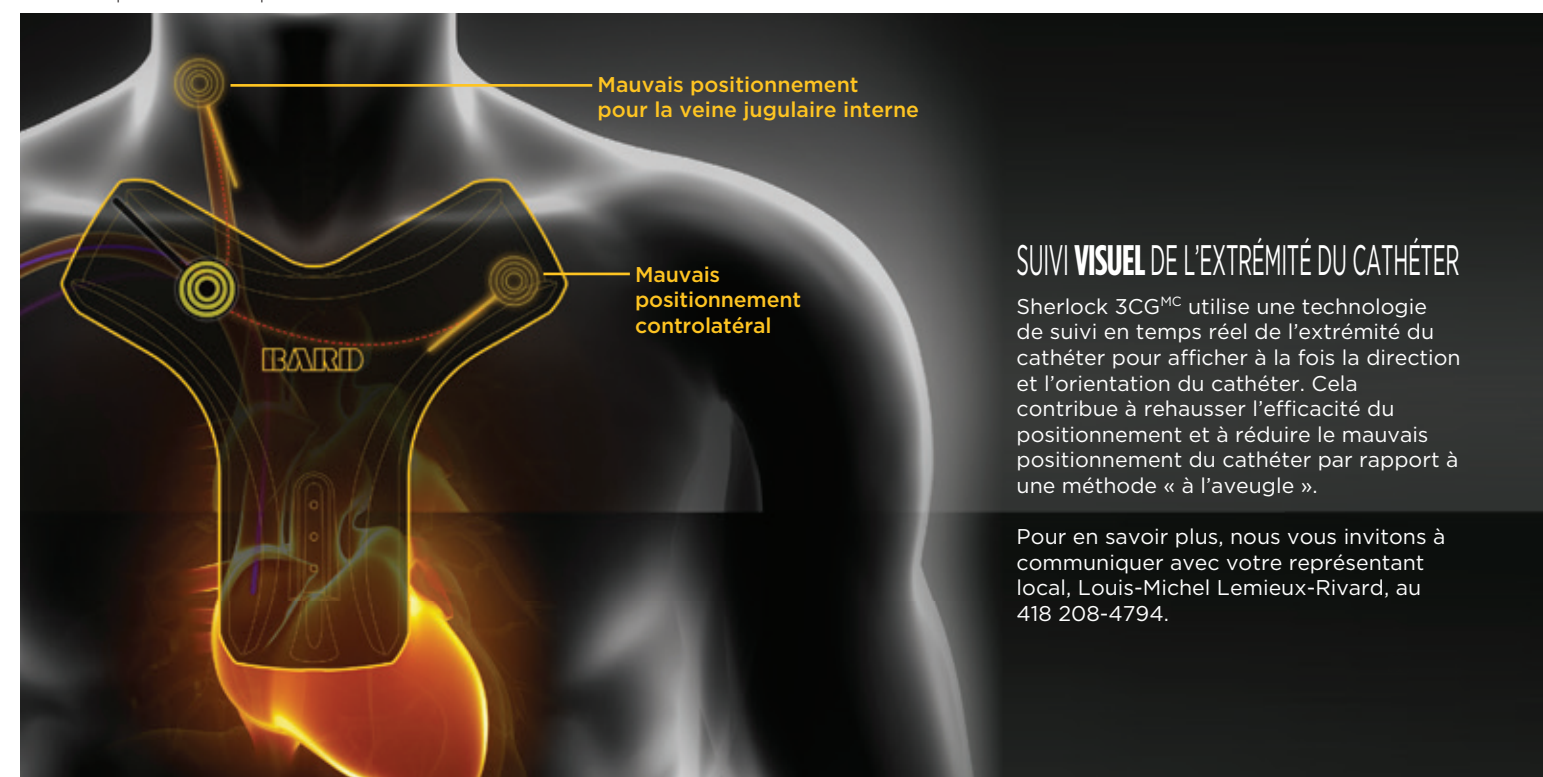


Figure 5 : Caractérisation des tissus par rapport au HU versus haute et basse énergie.

Le principal avantage de la double énergie est la différenciation des matériaux par l'acquisition simultanée. La différence d'absorption des tissus, ayant des éléments au numéro atomique élevé (H, Ca, O et N), sera plus importante à cause de l'effet photoélectrique à faible énergie. Cela est aussi vrai pour l'iode présent dans les agents de contraste. Il est important de comprendre aussi que deux éléments différents tels que le calcium ou l'iode peuvent avoir une densité HU semblable pour un kV donné. Mais en utilisant deux spectres d'énergie différents, les profils d'atténuations seront différents en fonction des éléments présents dans chaque voxel. Le traitement des images DECT permet de distinguer les voxels contenant de l'iode, des os ou des tissus mous. (Figure 5)

## S'ATTAQUER AU CŒUR DU PROBLÈME

L'utilisation des rayons X pour confirmer le positionnement de l'extrémité d'un cathéter central inséré par voie périphérique (PICC) entraîne des coûts importants, expose les patients à un rayonnement dangereux et retarde le traitement médical. Le système de navigation et confirmation de l'extrémité du cathéter Sherlock 3CG<sup>MC</sup> s'attaque au cœur du problème pour positionner optimalement l'extrémité du PICC.



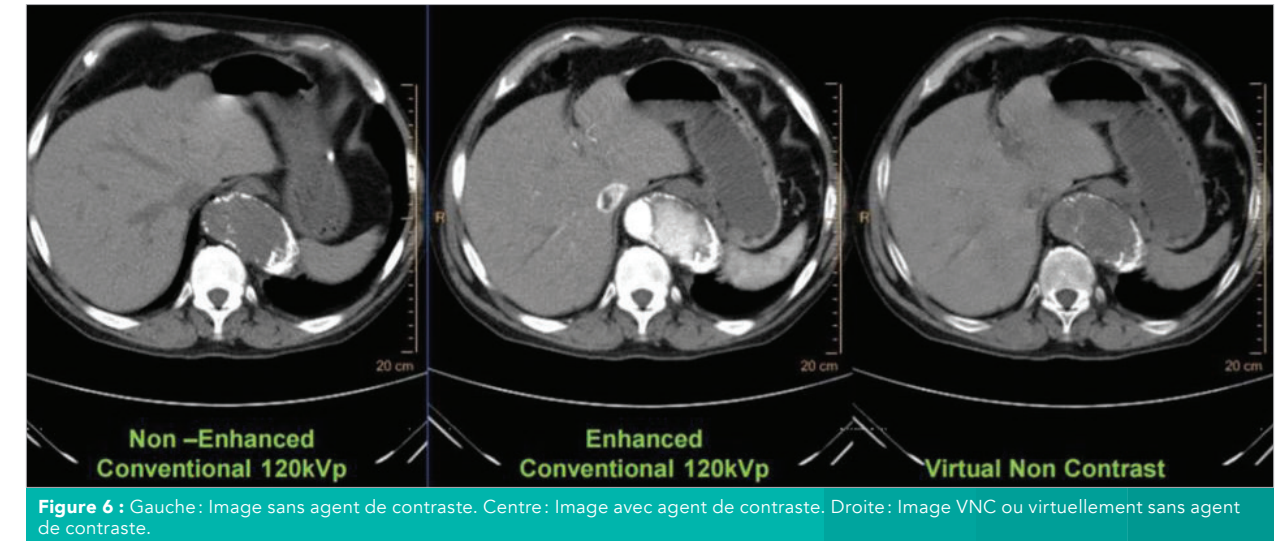
### SUIVI VISUEL DE L'EXTRÉMITÉ DU CATHÉTER

Sherlock 3CG<sup>MC</sup> utilise une technologie de suivi en temps réel de l'extrémité du cathéter pour afficher à la fois la direction et l'orientation du cathéter. Cela contribue à rehausser l'efficacité du positionnement et à réduire le mauvais positionnement du cathéter par rapport à une méthode « à l'aveugle ».

Pour en savoir plus, nous vous invitons à communiquer avec votre représentant local, Louis-Michel Lemieux-Rivard, au 418 208-4794.



**L'un des avantages d'utiliser le DECT est la séparation spectrale des images obtenues avec deux tubes d'énergies différentes.**



**Figure 6 :** Gauche : Image sans agent de contraste. Centre : Image avec agent de contraste. Droite : Image VNC ou virtuellement sans agent de contraste.

**RO**

Le traitement d'images permet d'améliorer le rehaussement de l'iode afin de mettre en évidence certaines pathologies et de les détecter plus rapidement. Avec les outils d'analyse, il est possible de faire, à la fois, une cartographie de la concentration d'iode dans les tissus et d'avoir une imagerie virtuellement sans contraste. Ce dernier est équivalent à un scan qui serait fait sans agent de contraste. **(Figure 6)**

Elle offre également les avantages du rayonnement à basse et à haute énergie. Pour ce faire, après l'imagerie, un mélange des données est fait tout en pondérant les images obtenues. En d'autres mots, nous obtenons une série d'images avec différents contrastes et niveaux de bruit selon le besoin de l'utilisateur. Par exemple, l'utilisateur peut choisir une pondération qui facilite la visualisation des petites lésions.

**Les avantages en radio-oncologie**

Comme mentionné précédemment, l'un des avantages d'utiliser le DECT est la séparation spectrale des images obtenues avec deux tubes d'énergies différentes. Cette séparation élimine une grande proportion des photons ayant une même énergie qui interagissent avec un même tissu. En éliminant ces photons, le traitement des données DECT permet une meilleure caractérisation des tissus, par exemple. **(Figure 4)**

La double énergie nous offre également un gain temporel, puisque les données sont acquises simultanément. Ce gain temporel permet de figer les mouvements internes entre deux images contrairement à deux scans réalisés un à la suite de l'autre. Dans ce cas-ci, nous pouvons penser à la planification de traitement pour le poumon, des lymphomes ou encore des lésions au niveau du foie. Il est aussi intéressant pour les médecins que pour les physiciens, lors de l'analyse ou lorsqu'ils dessinent les contours tumoraux et le PTV (*planning target volume*).

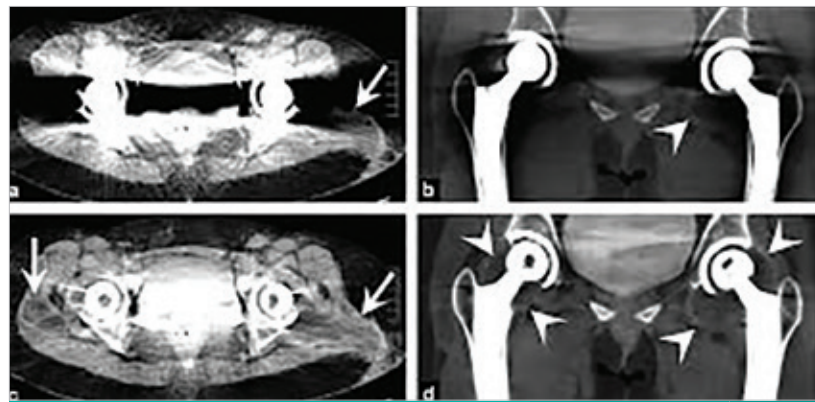
**Les gains en ce qui a trait à la planification**

Lors de la planification des traitements, il est possible, avec ce scan, de faire des images plus rapidement puisque les deux sources peuvent effectuer une rotation complète en 0,28 seconde tout en ayant une grande vitesse de déplacement de la table. Il peut réaliser un scan à la vitesse de 458 mm/s.<sup>1</sup> **(Figure 2)** Même si ce n'est pas notre routine, l'outil sera présent lorsque nous serons prêts à l'utiliser. Nous l'avons déjà utilisé lors d'un protocole de recherche qui avait pour but de diminuer la dose au cœur dans la radiothérapie au sein gauche avec l'option de la double source.<sup>13</sup>

Lors du traitement des images, il est possible de diminuer, au mieux, certains artéfacts, par exemple le durcissement de faisceaux. Comme mentionné précédemment, cela est possible en mélangeant les données des deux images en diminuant ou en augmentant la pondération de chaque image. De cette façon, une image au contraste optimale peut être obtenue. **(Figure 7)**

Une imagerie fonctionnelle se basant sur la vascularisation des vaisseaux peut également être obtenue lors de l'analyse de la quantité d'agent de contraste dans les tissus. En considérant cet aspect fonctionnel des organes à risques, nous pouvons planifier les traitements en diminuant la dose au volume fonctionnel sain et diminuer la toxicité des traitements de radiothérapie.<sup>3</sup>

**En considérant cet aspect fonctionnel des organes à risques, nous pouvons planifier les traitements en diminuant la dose au volume fonctionnel sain et diminuer la toxicité des traitements de radiothérapie.**



**Figure 7** : Durcissement de faisceaux corrigé d'un patient ayant des prothèses de hanche double.

**RO**

**Les gains sur le plan dosimétrique**

En dosimétrie, la première étape à la planification de traitement consiste en général à importer et à transformer les unités Hounsfield en une valeur de densité électronique relative à l'eau pour chaque voxel. (Figure 5) La densité électronique peut être déduite directement des images à double énergie sans l'usage d'une règle de conversion, qui est nécessaire en simple énergie, mais parfois imparfaite. Les images à double énergie permettent aussi d'assigner précisément un tissu à chaque voxel, une information cruciale pour des calculs dosimétriques avancés et basés sur les simulations Monte Carlo. À ce jour, le gain dosimétrique apporté par la double énergie est difficile à démontrer pour la radiothérapie conventionnelle. Par contre, nous pensons pouvoir éviter l'acquisition sans injection de produit de contraste, puisque nous pourrions l'avoir virtuellement sans contraste. Nous nous attendons également à des gains majeurs en ce qui concerne des traitements en curiethérapie de bas débit et en protonthérapie.

**La recherche au CHUM**

Le scanner double énergie a amené plusieurs radio-oncologues, physiciens, résidents et étudiants, à étudier les avancées technologiques que cet appareil offre pour le futur en oncologie. À partir des données obtenues, ils ont développé une technique d'étalonnage stœchiométrique (*Étude des composés chimiques des éléments*) pour caractériser les tissus pour la radiothérapie. Ils ont développé une technique pour extraire les paramètres physiques (le numéro atomique de densité électronique) en préreconstruction des images.<sup>4-5-6-7</sup> Ils ont proposé une méthode pour décrire les tissus corporels à partir des images DECT, pour mieux calculer la dose en curiethérapie de bas débit pour la prostate.<sup>8-11-12</sup> Ils ont aussi étudié le potentiel du DECT pour diminuer l'incertitude sur la portée des protons dans les tissus corporels pour la planification de plans de protonthérapie.<sup>9-10</sup> Ils ont développé une méthode robuste de quantification de l'iode et la génération d'images virtuellement sans agent de contraste. De plus, ils ont étudié comment

déterminer la fonction respiratoire des patients avec la concentration de l'iode, utilisé comme agent de contraste, lors de l'imagerie. La suite logique sera d'introduire la fonction respiratoire des patients dans la planification des traitements afin d'épargner le niveau fonctionnel des poumons.<sup>3-13</sup> Ils ont aussi évalué la dose délivrée à l'artère antérieure descendante gauche, l'artère coronaire principale gauche, le ventricule gauche et le cœur entier, lors de cycle cardiaque complet pour la radiothérapie en respiration profonde bloquée pour le sein gauche. Les images ont été acquises à l'aide de produits de contraste et en utilisant la double source.<sup>14</sup>

**Conclusion**

En conclusion, cet appareil apporte beaucoup de possibilités qui entraîneront l'amélioration des traitements de radiothérapie au cours des prochaines années. Que ce soit pour améliorer la qualité des images, pour accroître la caractérisation des tissus ou pour diminuer la dose délivrée aux organes à risques, le DECT a sa place parmi nous.

**RÉFÉRENCES**

1 – SIEMENS HEALTHINEERS. Somatom Definition Flash, [En ligne], 2018. (Consulté en octobre 2018) <https://www.healthcare.siemens.ch/fr/computed-tomography/dual-source-ct/somatom-definition-flash>

2 – DOCPLAYER, Applications potentielles du scanner avec acquisition en énergie spectrale (bi-énergie) pour l'exploration de l'appareil urinaire, [En ligne], 2011. (Consulté en octobre 2018) <https://docplayer.fr/10261804-Applications-potentielles-du-scanner-avec-acquisition-en-energie-spectrale-bi-energie-pour-l-exploration-de-l-appareil-urinaire.html> (Diapositives 4, 5, 9-11, 13-15)

3 – UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL, PYPYRUS. Applications du tomodensitomètre à double énergie en radio-oncologie. [En ligne], 2018. (Consulté en octobre 2018) <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/20604>

4 – IOPSCIENCE, PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY, A stoichiometric calibration method for dual energy computed tomography. [En ligne], 2014. (Consulté en octobre 2018) <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/59/8/2059/meta>

5 – IOPSCIENCE, PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY, Comment on 'A new method to measure electron density and effective atomic number using dual-energy CT images'. [En ligne], 2016. (Consulté en octobre 2018) <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/61/16/6264/meta>

6 – IOPSCIENCE, PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY, A general method to derive tissue parameters for Monte Carlo dose calculation with multi-energy CT. [En ligne], 2016. (Consulté en octobre 2018) <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/61/22/8044/meta>

7 – AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, A theoretical comparison of tissue parameter extraction methods for dual energy computed tomography. [En ligne], 2016. (Consulté en octobre 2018) <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.4886055>

8 – AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Improved tissue assignment using dual-energy computed tomography in low-dose rate prostate brachytherapy for Monte Carlo dose calculation. [En ligne], 2016. (Consulté en octobre 2018) <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.4947486>

9 – AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, The potential of dual-energy CT to reduce proton beam range uncertainties. [En ligne], 2017. (Consulté en octobre 2018) <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mp.12215>

10 – AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, A Bayesian approach to solve proton stopping powers from noisy multi-energy CT data. [En ligne], 2017. (Consulté en octobre 2018) <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mp.12489>

11 – IOPSCIENCE, PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY, Dosimetric impact of dual-energy CT tissue segmentation for low-energy prostate brachytherapy: a Monte Carlo study. [En ligne], 2018. (Consulté en octobre 2018) <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6560/aaa30c/meta>

12 – AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Experimental validation of two dual-energy CT methods for proton therapy using heterogeneous tissue samples. [En ligne], 2017. (Consulté en octobre 2018) <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mp.12666>

13 – AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Robust quantitative contrast-enhanced dual-energy CT for radiotherapy applications. [En ligne], 2018. (Consulté en octobre 2018) <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mp.12934>

14 – CLINICALKEY, In a Heartbeat: An Assessment of Dynamic Dose Variation to Cardiac Structures Using Dual Source Computed Tomography. [En ligne], 2018. (Consulté en octobre 2018) <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360301618301159>

2 – SIEMENS HEALTHINEERS, [En ligne] (Consulté en octobre 2018) [https://static.healthcare.siemens.com/siemens\\_hwem-hwem\\_sxxa\\_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@ct/documents/image/mdaw/njax/~edisp/ct-somatom-definition-flash-technical-dual\\_source\\_flash\\_spiral-00379531/~renditions/ct-somatom-definition-flash-technical-dual\\_source\\_flash\\_spiral-00379531-10.jpg](https://static.healthcare.siemens.com/siemens_hwem-hwem_sxxa_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@ct/documents/image/mdaw/njax/~edisp/ct-somatom-definition-flash-technical-dual_source_flash_spiral-00379531/~renditions/ct-somatom-definition-flash-technical-dual_source_flash_spiral-00379531-10.jpg)

3 – SIEMENS HEALTHINEERS, [En ligne] (Consulté en octobre 2018) [https://static.healthcare.siemens.com/siemens\\_hwem-hwem\\_sxxa\\_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@ct/documents/image/mdaw/ntkw/~edisp/ct-somatom-definition-flash-benefits-dual\\_source\\_dual\\_energy-00379145/~renditions/ct-somatom-definition-flash-benefits-dual\\_source\\_dual\\_energy-00379145-10.jpg](https://static.healthcare.siemens.com/siemens_hwem-hwem_sxxa_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@ct/documents/image/mdaw/ntkw/~edisp/ct-somatom-definition-flash-benefits-dual_source_dual_energy-00379145/~renditions/ct-somatom-definition-flash-benefits-dual_source_dual_energy-00379145-10.jpg)

4 – SIEMENS HEALTHINEERS, [En ligne] (Consulté en octobre 2018) [https://static.healthcare.siemens.com/siemens\\_hwem-hwem\\_sxxa\\_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@ct/documents/image/mdaw/njax/~edisp/ct-somatom-definition-flash-technical-dual\\_energy\\_with\\_selective\\_photon\\_shield-00379533/~renditions/ct-somatom-definition-flash-technical-dual\\_energy\\_with\\_selective\\_photon\\_shield-00379533-10.jpg](https://static.healthcare.siemens.com/siemens_hwem-hwem_sxxa_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@ct/documents/image/mdaw/njax/~edisp/ct-somatom-definition-flash-technical-dual_energy_with_selective_photon_shield-00379533/~renditions/ct-somatom-definition-flash-technical-dual_energy_with_selective_photon_shield-00379533-10.jpg)

5 – Fournie par Stéphane Bedwani PhD au CHUM

6 – <https://slideplayer.com/slide/13196571/79/images/43/VNC+Calcium+%26+bone+may+show+lower+HU+than+conventional.jpg>

7 – <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:AND9GcSyygKDkfdaxR010BZBqYgeDudHR0Hp0ONbDcsxMyxyAv-NyfUec>

**FIGURES**

1 – SIEMENS HEALTHINEERS, [En ligne] (Consulté en octobre 2018) [https://static.healthcare.siemens.com/siemens\\_hwem-hwem\\_sxxa\\_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@ct/documents/image/mda4/mzcx/~edisp/back\\_to\\_the\\_future\\_s-dsct-header-portrait-05412838/~renditions/back\\_to\\_the\\_future\\_s-dsct-header-portrait-05412838-8.jpg](https://static.healthcare.siemens.com/siemens_hwem-hwem_sxxa_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@ct/documents/image/mda4/mzcx/~edisp/back_to_the_future_s-dsct-header-portrait-05412838/~renditions/back_to_the_future_s-dsct-header-portrait-05412838-8.jpg)

**REMERCIEMENTS**

Stéphane Bedwani, Ph.D. au CHUM  
Dr David Roberge et Dr Houda Bahig pour la relecture de cet article.



# SGRT : Radiothérapie guidée par la surface

**Existe-t-il une technologie de pointe qui surveille la position du patient pendant la radiothérapie et qui favorise en même temps la précision de l'installation ?**



Amélie Turmel,  
t.r.o.



Vanessa Perreault,  
t.r.o.

Département de radio-oncologie de l'Hôtel-Dieu de Québec,  
CHU de Québec-Université Laval

C'est bien connu, les traitements de radiothérapie doivent être extrêmement précis. Avec l'avancement de la technologie, les techniques de traitement se perfectionnent; on souhaite délivrer le maximum de dose à la région cible tout en diminuant les marges pour ainsi épargner les tissus sains avoisinants. Pour des traitements de radiochirurgie par exemple, les doses deviennent très élevées et les marges de sécurité sont quasi inexistantes. Il devient alors d'autant plus important de bien surveiller le patient lors des traitements. C'est cette préoccupation qui a mené le département de radio-oncologie de l'Hôtel-Dieu de Québec à se questionner sur de nouvelles technologies.

## Historique départemental

C'est en 2008 que la pratique de la radiochirurgie à l'Hôtel-Dieu de Québec a débuté. La radiochirurgie

est une technique de traitement très précise, au niveau du cerveau, donnant une forte dose de radiation (entre 12 et 21 Gy) en un nombre restreint de traitements (3 fractions ou moins), et ce, en conditions stéréotaxiques<sup>1</sup>. Une fois la tumeur bien identifiée, on dirige plusieurs faisceaux étroits de radiation sur la zone cible, ce qui permet de détruire la maladie et de réduire au maximum le risque de dommages aux structures saines adjacentes. La radiochirurgie est soit le seul traitement, soit une alternative ou un complément à l'approche chirurgicale de certaines lésions cérébrales. Elle permet au patient d'éviter les risques liés à une chirurgie invasive. Par le passé, le moyen de contention utilisé pour cette technique était le cadre stéréotaxique. Ce cadre, utilisé par les neurochirurgiens lors d'interventions chirurgicales, est en fait un cerceau métallique muni de quatre piliers verticaux, qui

est maintenu au crâne du patient par quatre vis. Il permettait, entre autres, d'immobiliser la tête du patient pour la durée du traitement tout en permettant de repérer avec précision la lésion grâce à un système de coordonnées.

Étant conscient que cette pratique était autant invasive pour le patient que lourde pour le système hospitalier, le département ressentait le besoin de perfectionner sa technique tout en conservant la même qualité de traitements. Il se devait donc de trouver une alternative qui remplirait toutes les conditions.

C'est en 2015 que le département fit l'acquisition de deux technologies de pointe: un appareil de traitement TrueBeam de Varian muni d'une table permettant des mouvements en 6D : 3 dimensions translatives (longitudinale, latérale et verticale) et 3 dimensions rotatives (rotation, tangage et roulis) (Figure 1) ainsi que le logiciel AlignRT de Vision-RT permettant d'effectuer des traitements de radiothérapie guidés par la surface (SGRT).

**L'utilisation du logiciel AlignRT prend toute son importance. Il nous assure qu'aucune radiation ne sera délivrée si le patient bouge.**

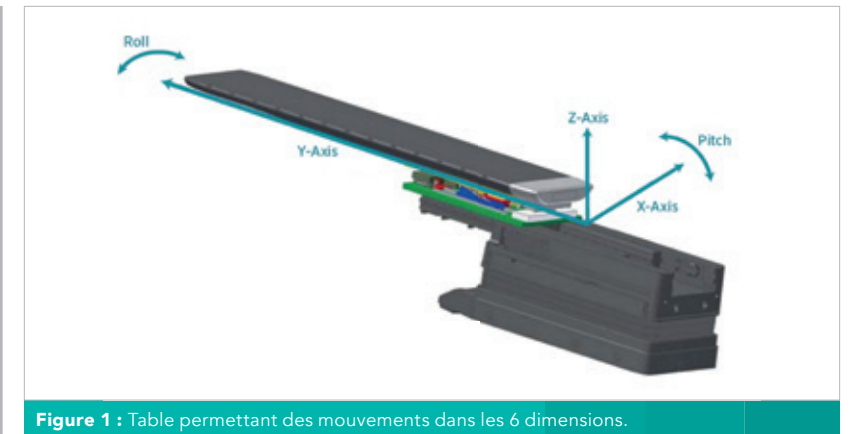


Figure 1 : Table permettant des mouvements dans les 6 dimensions.

C'est donc en jumelant ces deux technologies que, le 13 décembre 2017, le premier traitement de radiochirurgie sans cadre stéréotaxique fut réalisé.

## Mais que signifie SGRT ?

**Surface Guided Radiation Therapy** (Radiothérapie guidée par la surface)

Comme son nom l'indique, cette technique utilise la surface (ou le contour externe) du patient pour vérifier le positionnement, mais aussi pour détecter les mouvements du patient en temps réel et ainsi gérer l'émission de la radiation lors du traitement.

## Fonctionnement et composants

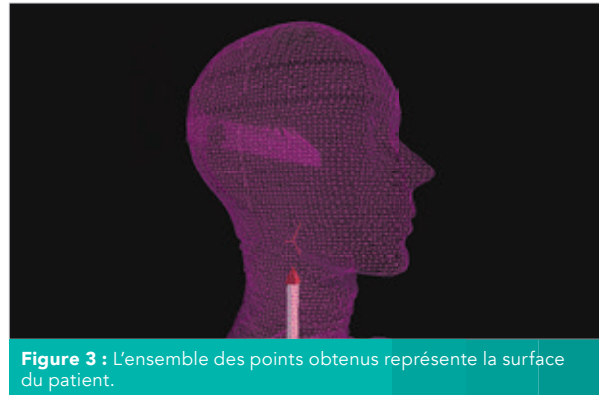
Le logiciel AlignRT est en fait un système d'imagerie basé sur une vidéo 3D du contour externe du patient. Il est composé d'une station VisionRT, d'un poste de travail principal, d'un poste de travail à distance, de trois modules de caméras et d'un plateau de calibration.

Les modules de caméras sont placés devant et de chaque côté

<sup>1</sup> Le terme stéréotaxie désigne des traitements à hautes doses, hypofractionnés et ayant une précision inframillimétrique.



**Figure 2 :** La lumière rouge projetée en direction du patient permet la reconstruction du contour externe.



**Figure 3 :** L'ensemble des points obtenus représente la surface du patient.

du patient de façon à ce que celui-ci soit capté sous le plus d'angles possible. Chaque module possède un projecteur ainsi que deux capteurs d'images. Ceux-ci projettent un modèle lumineux en direction du patient dont le motif sert à la reconstruction du contour externe.

**(Figure 2)** Le résultat obtenu est une image 3D de la surface du patient composée d'environ 20000 points.

**(Figure 3)** Lorsque les caméras sont activées, le logiciel compare en continu la surface captée à l'image de référence avec une précision inframillimétrique. Cela permet donc de vérifier la position du patient pour faciliter l'installation et d'effectuer les corrections nécessaires, s'il y a lieu. Cela permet également de surveiller le patient pendant le traitement et d'interrompre la radiation si le patient se déplace hors de la position souhaitée.

### Application et utilisation

Pour le moment, à l'Hôtel-Dieu de Québec, l'utilisation de la SGRT est principalement dédiée aux traitements dits stéréotaxiques, soit la radiochirurgie, les stéréotaxies cérébrales et certains cas de SBRT (*Stereotaxic Body Radiation Therapy*). Les doses pour ces 3 types de traitements étant très élevées, il devient donc primordial d'être extrêmement précis. En radiochirurgie par exemple, les doses varient entre 12 Gy et 21 Gy en 1 à 3 fractions. Les tumeurs cérébrales stéréotaxiques ont une dose en moyenne de 6 Gy par jour pour un total de 5 fractions. Pour les SBRT, les doses varient également entre 10 Gy et 13 Gy par fraction pour un total de 4 à 5 fractions. En délivrant ainsi de très grandes doses, l'utilisation du logiciel AlignRT prend toute son importance. Il nous assure qu'aucune radiation ne sera délivrée si le patient bouge. Cela évite également que les rayonnements soient délivrés aux tissus et aux organes voisins, ce qui peut entraîner des effets secondaires indésirables et un traitement inefficace.

Avant de parvenir à la réalisation d'un traitement, plusieurs étapes sont essentielles. Les prochaines lignes décrivent les étapes d'un traitement de radiochirurgie en commençant par la calibration des caméras jusqu'au déroulement du traitement de SGRT.

#### ■ Calibration des caméras

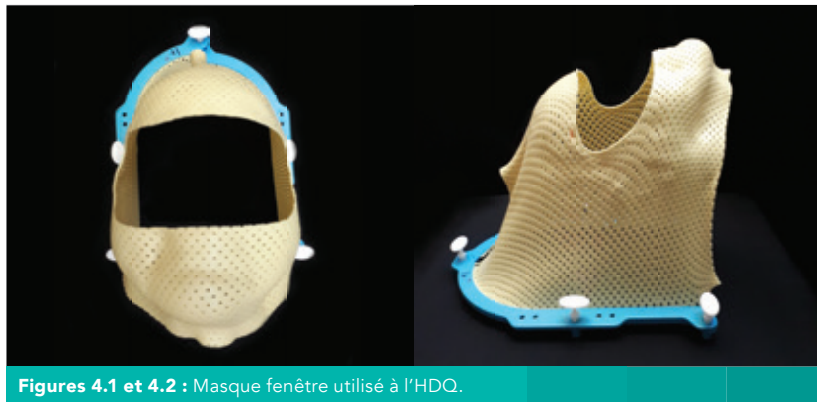
La calibration des caméras est effectuée quotidiennement lors des tests matinaux. À l'aide du plateau de calibration, nous vérifions que les caméras soient dans leur position initiale. Ces tests sont primordiaux afin de s'assurer de la précision de l'image captée.

#### ■ Création d'un dossier informatique :

Sur la station VisionRT, le technologue crée d'abord un dossier patient. Le plan provenant du CT de planification et le contour externe du patient sont alors importés. Par la suite, le degré de résolution et les seuils de tolérance qui seront utilisés pour la surveillance du patient sont sélectionnés. Les seuils de tolérance varient selon la région traitée. Un haut degré de résolution est utilisé pour les traitements qui requièrent plus de précision telle que la radiochirurgie. Les seuils de tolérance pour cette technique sont de 0,7 mm, ce qui veut dire que si le patient bouge de plus de 0,7 mm dans une des 6 dimensions (longitudinale, latérale, verticale, roulis, tangage et rotation), la radiation sera automatiquement arrêtée par le logiciel. Les traitements qui requièrent un peu moins de précision ont, au contraire, un degré de résolution moins élevé et des seuils de tolérance plus grands. Par exemple, un seuil de tolérance de 3 mm est utilisé pour les traitements au niveau du sein.

Grâce à ce logiciel, le patient peut bénéficier d'un traitement optimal et le technologue s'assure d'effectuer un traitement plus précis.





Figures 4.1 et 4.2 : Masque fenêtre utilisé à l'HDOQ.

■ **Délimitation de la région d'intérêt**

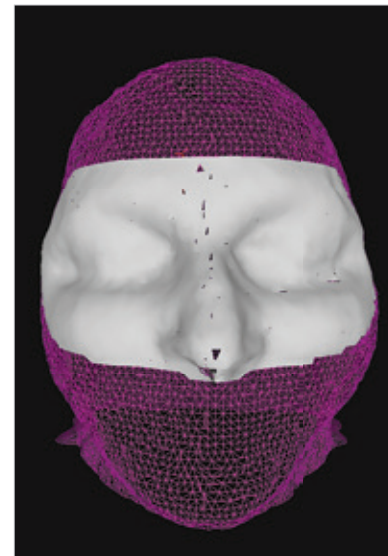
À partir de la surface de référence importée, le technologue détermine la région qui sera utilisée pour surveiller les mouvements du patient (ROI: *region of interest*). Il existe deux sortes de ROI: l'isocentrique qui est utilisé pour surveiller la position au niveau même de la région traitée et le centroïde qui sert à vérifier la position d'une région située à l'extérieur de la zone traitée et présentant un impact dosimétrique.

Pour les traitements de radiochirurgie et de tumeurs cérébrales en stéréotaxie, un masque fenêtre est utilisé comme moyen de contention. Ce masque assure non seulement une bonne immobilisation du patient, mais son ouverture au niveau des yeux et du nez permet de surveiller les mouvements de celui-ci. Cette ouverture permet à la lumière projetée par les caméras de bien détecter la peau du patient et non la surface du moulage (Figures 4.1 et 4.2). C'est pour cette raison que le ROI délimité pour ces cas représente l'ouverture du masque (Figure 5).

**Déroulement d'un traitement de radiochirurgie en SGRT**

Dans la salle de traitement, le patient est installé avec le masque fenêtre. Une fois bien positionné, la surveillance avec le logiciel AlignRT est activée. La position de départ est vérifiée et des ajustements peuvent être faits à l'aide du logiciel.

Au poste de contrôle, les technologues effectuent la prise d'images par un CBCT (*Cone Beam Computed Tomography*). Une comparaison est donc réalisée dans les 6D sur la boîte crânienne afin de reproduire parfaitement la position du CT de référence. Lorsque l'analyse des images est complétée, les déplacements sont appliqués à la table de traitement. Par la suite, l'acquisition d'une nouvelle surface de référence AlignRT est nécessaire afin que le logiciel surveille le patient dans cette nouvelle position. Le traitement peut alors débuter. Le faisceau de radiation est retenu lorsque les mouvements du patient sortent des tolérances permises et est délivré lorsqu'ils se situent à l'intérieur de celles-ci. (Figures 6 et 7) Si le logiciel détecte un mouvement hors tolérances, la reprise d'images est primordiale afin de poursuivre le traitement.



Figures 5 : La zone blanche représente la région d'intérêt (ROI) isocentrique utilisée pour la radiochirurgie et les stéréotaxies crâniennes.

La technique de traitement utilisée pour effectuer une radiochirurgie comprend des champs statiques, comporte une vingtaine d'incidences et environ quatre angulations différentes du socle de table. Pour chaque changement de socle, l'acquisition d'une image d'isocentre kV est nécessaire afin de pallier l'imperfection de la rotation de la table. Une nouvelle surface de référence AlignRT est également acquise.

La durée d'un traitement de radiochirurgie peut varier entre 30 minutes et 2 heures selon le nombre de volumes cibles à traiter. Le temps de traitement étant plus élevé, la probabilité que le patient bouge est alors augmentée. Grâce à ce logiciel, le patient peut bénéficier d'un traitement optimal et le technologue s'assure d'effectuer un traitement plus précis.

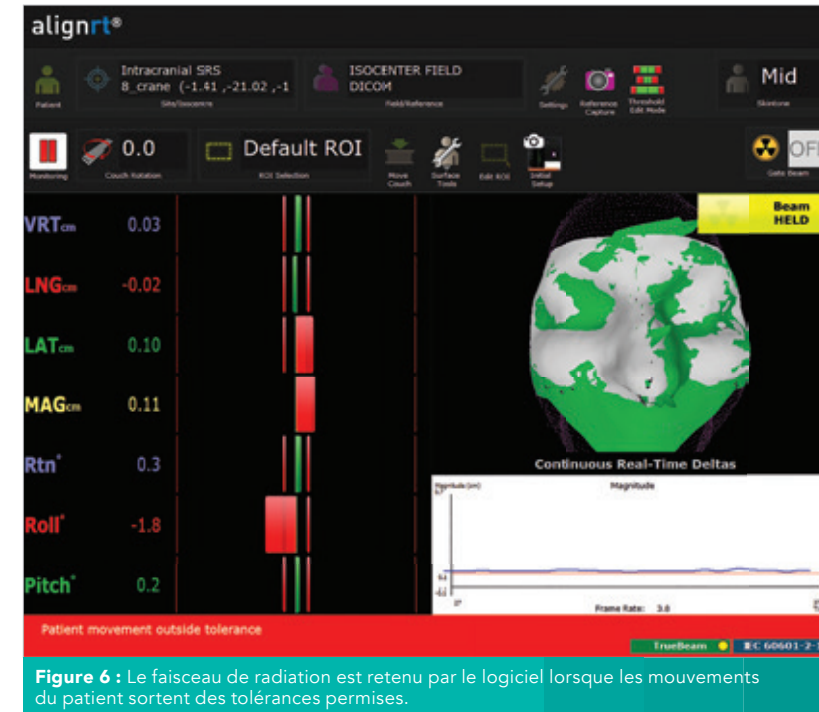


Figure 6 : Le faisceau de radiation est retenu par le logiciel lorsque les mouvements du patient sortent des tolérances permises.

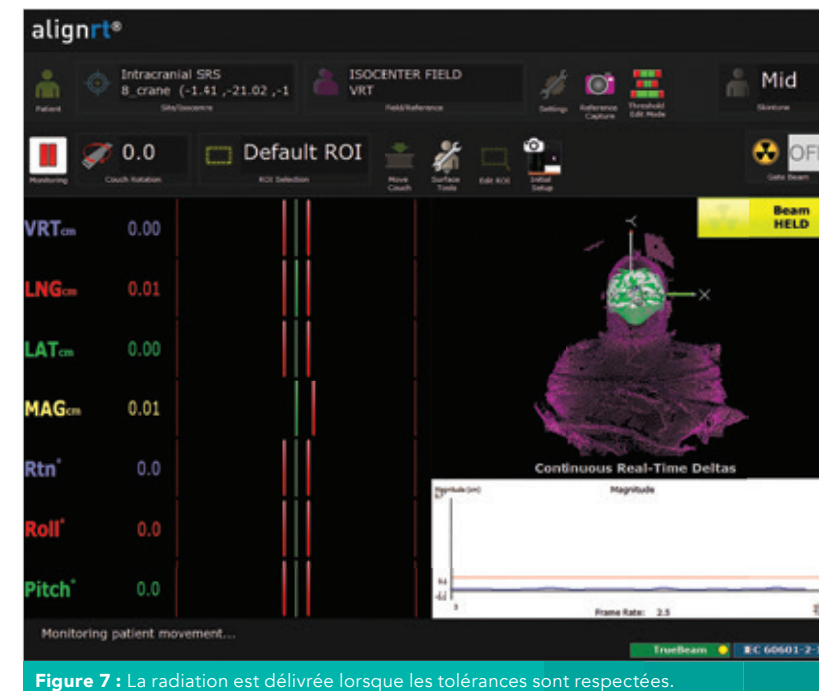


Figure 7 : La radiation est délivrée lorsque les tolérances sont respectées.

## 7 conseils pour créer un budget de rénovations

Rénover sa maison donne envie de voir grand. Mais, pour que l'opération soit rentable, il est important d'établir un budget pour accomplir vos projets. Voici des conseils pour garder vos dépenses sous contrôle.

### 1. Établir le montant à dépenser

- > Gardez en tête la valeur de revente au moment de planifier votre budget. Par exemple, la cuisine représente de 10 à 15 % de la valeur d'une propriété. Si vous désirez la rénover, limitez vos dépenses à cette proportion de la valeur de la maison. Dans le cas d'une résidence d'une valeur de 300 000\$, le coût de rénovation de la cuisine serait donc de 30 000\$ à 45 000\$.
- > Si vous refaites la salle de bain, une autre pièce appréciable au moment de la revente d'une maison, calculez de 5 à 10 % de la valeur de la propriété. Cela peut varier entre 12 000\$ et 25 000\$ pour rénover une salle de bain standard, selon le service Réno-Assistance.
- > Rappelez-vous que certaines rénovations rapportent plus que d'autres : évitez donc de consacrer la majeure partie de votre budget au puits de lumière ou à la construction d'une piscine.

### 2. Planifier toutes les dépenses

- > Le coût de la main-d'œuvre représente souvent la moitié des dépenses de rénovation, voire davantage si la tâche s'avère plus complexe que prévu. Cela dit, ne croyez pas pouvoir tout faire vous-même : mieux vaut confier certains travaux à des professionnels.
- > Il est suggéré de garder environ 10% du budget de rénovations pour des dépenses imprévues. Par exemple, en rénovant la cuisine, vous pourriez réaliser qu'il faudrait impérativement refaire le système électrique de la pièce. Mieux vaut donc ne pas prévoir un budget trop serré.
- > N'oubliez pas de vous procurer un permis auprès de votre municipalité. En revanche, les travaux intérieurs comme la rénovation de la cuisine ou de la salle de bain n'en requièrent habituellement pas.
- > Certaines municipalités facturent un prix par tranche de 1000\$ pour le permis. Par exemple, la Ville de Montréal facture 9,80\$ par tranche de 1000\$ de rénovations. D'autres municipalités réclament un coût fixe pour le permis, généralement de quelques centaines de dollars. Étant donné la variation des prix, mieux vaut consulter les règlements en vigueur dans sa municipalité.

### 3. Éviter les travaux majeurs

- > Avez-vous vraiment besoin de déplacer un mur ? Si vous le laissez en place, vous économiserez entre 3 000\$ et 5 000\$. De même, s'il est possible de ne pas refaire le plafond et les murs, vous réduirez considérablement la facture pour

vos rénovations. Dans la salle de bain, poser les nouveaux robinets au même endroit que les précédents évitera aussi une dépense inutile.

### 4. Faire vous-même ce dont vous êtes capable

- > Vous savez manier un pinceau et un rouleau ? Repeindre vous-même les murs de la propriété peut vous faire épargner plus de 1000\$ par pièce!

### 5. Chercher les économies du côté de ce qui coûte le plus cher

- > Il n'est pas nécessaire de renoncer à tout ce qui est haut de gamme. De petites différences qui ne paraîtront pas pourraient mener à de belles économies. Vous pouvez rechercher des électroménagers légèrement endommagés : une petite égratignure peut vous valoir un bon rabais, même si elle n'est pas visible.

### 6. Trouver du financement

- > Ça y est, vous êtes prêt à rénover, mais les fonds vous manquent pour vous lancer ? Vous pouvez faire appel à des solutions de financement comme le forfait Tout-En-Un qui vous permet d'utiliser la valeur nette de votre propriété pour financer vos rénovations, et ce, avec un taux d'intérêt avantageux.
- > Vous pouvez également opter pour une marge de crédit personnelle qui vous donne accès à une source de financement préautorisée en tout temps et offre un taux d'intérêt souvent plus avantageux qu'une carte de crédit.

### 7. Profiter des subventions gouvernementales pour les rénovations

- > Pour réduire encore plus le coût de vos rénovations, regardez du côté des subventions gouvernementales. Par exemple, le crédit d'impôt RénoVert encourage les rénovations résidentielles écoresponsables et correspond à 20 % de la partie des dépenses admissibles qui excède 2 500\$, jusqu'à un montant maximal de 10 000\$. Vous pouvez l'utiliser, par exemple, pour installer une thermopompe à air homologuée Energy Star ou un toit végétalisé.

Si ces rénovations font partie de vos projets, dépêchez-vous, car le crédit d'impôt RénoVert est en vigueur jusqu'au 31 mars 2019.

Maintenant que vous avez tout ce qu'il faut pour établir votre budget de rénovation, c'est le temps de commencer à planifier les travaux!

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/specialistesante](http://bnc.ca/specialistesante).



## RO Les avantages de la SGRT

Il existe beaucoup d'avantages à utiliser cette technologie :

- Le logiciel est fiable et très précis. Il détecte les mouvements du patient au dixième de millimètre et au dixième de degré.
- Il est non invasif, car aucun marqueur n'est requis.
- Aucune radiation supplémentaire n'est délivrée.
- Il y a possibilité d'éliminer les marques sur la peau du patient.
- Le logiciel diminue le temps d'installation et de positionnement du patient.
- Cette technologie peut être appliquée à plusieurs sièges tumoraux (sein, crâne, extrémités, etc.)
- La SGRT peut être utilisée pour plusieurs autres techniques de traitement comme le DIBH (traitement du sein en inspiration bloquée), le sarcome, le SBRT, etc.
- Elle est également pratique pour certains cas particuliers (pédiatrie, Parkinson, déficience, etc.)
- Avec ce système, il y a possibilité d'utiliser moins d'accessoires de contention et ainsi améliorer le confort du patient.
- Les mouvements du patient, qu'ils soient perceptibles ou non par l'œil humain, sont détectés par le logiciel. Cela nous assure donc qu'aucune radiation ne sera délivrée si le patient bouge. La reprise d'images s'en trouve ainsi justifiée.
- La fréquence d'imagerie peut être diminuée.
- La prise de DSP (distance source-patient) se fait rapidement grâce au logiciel.
- Les tests quotidiens sont faciles et rapides.

Depuis le début de l'utilisation du logiciel à l'Hôtel-Dieu de Québec, nous avons bien sûr connu quelques difficultés. Par exemple, l'éclairage de la salle doit être ajusté adéquatement afin de permettre aux caméras de bien reconstruire le contour externe du patient. Les caméras sont parfois bloquées par le bras de l'appareil et les accessoires d'imagerie, ce qui peut provoquer une détection erronée des mouvements du patient. La formation initiale sur le logiciel étant minimaliste, il a fallu beaucoup d'essais et erreurs afin d'arriver à utiliser le logiciel à son plein potentiel. Cette technologie est innovatrice, il existe donc peu de partages d'expérience.

## Une technologie en pleine croissance

En résumé, l'aspect novateur de cette technologie est d'éviter tout traitement imprécis en surveillant la position du patient pendant la radiothérapie et en informant l'accélérateur linéaire de retenir le faisceau de radiation si le patient bouge. Avec l'expérience acquise au département, le logiciel AlignRT est un outil fiable et très précis.

La radiothérapie guidée par la surface (SGRT) étant une technique en pleine croissance, plusieurs utilisations potentielles sont encore à développer. Au Nouveau Centre Hospitalier de Québec (NCH), il y aura au moins trois appareils de traitements équipés de la Technologie AlignRT. Le Centre Régional Intégré de Cancérologie (CRIC), qui est situé à Lévis, s'est également doté d'une technologie équivalente. Il sera alors très intéressant de mettre en commun nos observations et notre vécu.

### FIGURES

1 – VARIAN. *PerfectPitch Couch6DoF*. ProductBrief\_RAD10264A\_January2013, [En ligne], 2013. [varian.com] (Consulté le 19 octobre 2018)

2 à 7 – Gracieuseté de l'Hôtel-Dieu-de-Québec, CHU de Québec-Université Laval

### REMERCIEMENTS

Nous remercions Marie-Ève Bérubé, t.r.o. et Martine Cloutier, t.r.o. pour leur partage d'informations ainsi que Renée Breton, t.r.o., pour nous avoir bien dirigées dans la conception de notre article.





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

# JFA

2019

JOURNÉE DE FORMATION ANNUELLE



RETOUR  
AUX BASES



TROUBLES  
DU SOMMEIL



RADIO-ONCOLOGIE  
PÉDIATRIQUE



TRAITEMENTS À L'AIDE  
DE RADIONUCLÉIDES  
EN MÉDECINE NUCLÉAIRE

- Heures de DPP par domaine : 3 heures
- Accès sur place
- Accès en webdiffusion en direct

Information générale et inscription:

[otimroepmq.ca/evenements](http://otimroepmq.ca/evenements)

**SAMEDI**  
**25 MAI**  
CHUM DE  
MONTREAL