

La médecine nucléaire n'a pas besoin de réacteurs

"Tu es contre le nucléaire, mais si un jour tu as un cancer, tu seras bien content qu'on puisse te soigner avec une radio-thérapie !" Quel-le militant-e antinucléaire ne s'est pas un jour entendu opposer un argument de ce genre ? Souvent sans vraiment savoir quoi répondre, car l'utilisation d'isotopes radioactifs par la médecine est un sujet dont les tenants et aboutissants sont peu connus. Pour que ce poncif pro-nucléaire ne puisse plus rester sans contradiction solide, nous avons demandé à Michel Duguay, physicien nucléaire et coordinateur de l'association Sortons le Québec du nucléaire, de faire le point pour nos lectrices et nos lecteurs.

Panorama historique des isotopes médicaux

Les isotopes médicaux sont des éléments radioactifs qui émettent des particules énergétiques capables de pénétrer une certaine distance dans le corps humain. Ces particules ont deux utilisations principales en médecine nucléaire : le diagnostic et le traitement de dysfonctionnements d'organes dans le corps humain.

La découverte de la radioactivité par Henri Becquerel en 1896 a été le point de départ du vaste domaine scientifique et technologique que constitue la radioactivité. En 1934, un tournant dans le développement de la médecine nucléaire fut la découverte par Irène Joliot-Curie et Frédéric Joliot-Curie de la transmutation d'éléments naturels par des particules énergétiques, phénomène qui permet aujourd'hui la fabrication de nombreux isotopes médicaux.

En décembre 1936, il s'en suivit la découverte de l'élément technétium à la position 43 du tableau périodique de Mendeleïev. Le technétium est presque totalement absent dans la nature sur Terre. Sa découverte en 1936 est survenue grâce au cyclotron inventé et opéré par Ernest Lawrence à Berkeley en Californie. Le physicien italo-américain Emilio Segrè avait obtenu de Lawrence une feuille de molybdène qui avait été exposée aux protons énergétiques accélérés par un cyclotron. En 1936 à l'Université de Palerme en Sicile, le chimiste Carlo Perrier et Emilio Segrè purent démontrer l'existence du premier élément créé artificiellement par transmutation nucléaire du molybdène, le technétium, mot dérivé d'un mot signifiant "artificiel" en grec ancien.

En 1946 un article publié par le médecin américain Sam Seidlin rapporta l'utilisation de l'isotope radioactif Iode-131 dans le traitement réussi de métastases cancéreuses de la glande thyroïde. C'était un point tournant dans le développement de la médecine nucléaire. Dans les années 1950-1960, la médecine nucléaire a connu une expansion rapide grâce à l'invention de caméras à rayons gamma, de matrices de détecteurs performants, et de la synthèse de molécules capables de transporter à des organes ciblés des isotopes radioactifs ; on appelle ces molécules des "traceurs

radiopharmaceutiques", ou plus simplement "radio-traceurs". À titre d'exemple, aujourd'hui la médecine nucléaire peut visualiser en trois dimensions la répartition de métastases cancéreuses, et dans de nombreux cas les cibler et les détruire à l'aide d'isotopes radioactifs.

Production des radio-isotopes médicaux par cyclotrons

Des millions de procédures médicales dans le monde utilisent des radio-traceurs comportant le technétium-99m. Celui-ci émet des rayons gamma de 140 kilo-électronvolts d'énergie qui traversent aisément le corps humain. À l'aide de caméras à rayons gamma et de systèmes de traitement informatisé de données on peut créer des images du corps humain en trois dimensions avec un accent particulier mis sur certains organes en dysfonctionnement.

Actuellement la très grande majorité du technétium-99m est produite par environ cinq réacteurs nucléaires dans le monde, dont notamment le réacteur NRU à Chalk River au Canada et le réacteur HFR à Petten en Hollande. Ces cinq réacteurs ont plus de 50 ans et arrivent en fin de vie. En 2009 et 2010, il y a eu une pénurie de technétium-99m dans le monde parce que le réacteur nucléaire NRU a été en arrêt prolongé pour réparations, de même que le réacteur HFR en Hollande. Les médecins nucléaires ont dû reporter certaines interventions ou utiliser d'autres isotopes radioactifs parfois moins performants.



© CHUS Sherbrooke



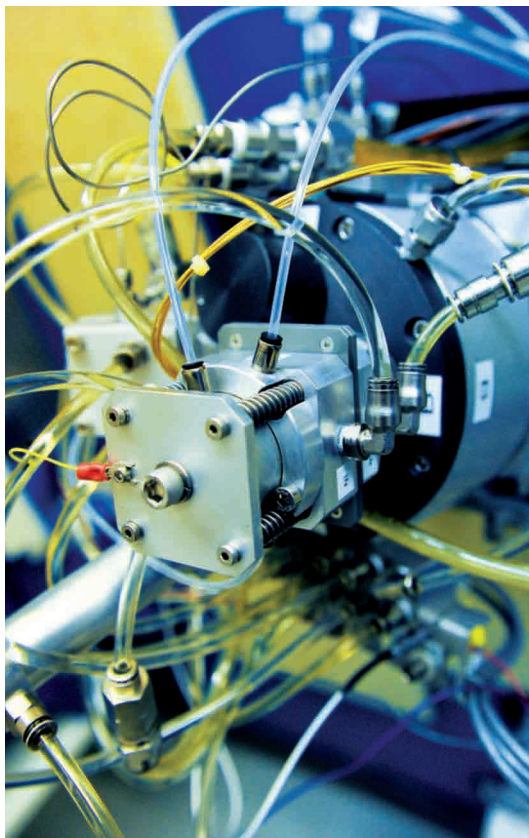
© Valériane Richard (projet pour l'IRSN)

Un projet de brochure pour l'IRSN pour sensibiliser les enfants de 7 à 14 ans aux enjeux du nucléaire. Où l'on voit la médecine nucléaire enrôlée sous la bannière de l'industrie atomique...

Récupération d'un échantillon de produit radiopharmaceutique en fin de synthèse dans la salle blanche du Centre d'imagerie moléculaire de Sherbrooke, Centre de recherche clinique Étienne-Le Bel du CHUS 4 de Sherbrooke.

Mais depuis trois ans un changement historique s'est produit pour ce qui est de la production du technétium-99m. Le 26 mars 2012 une équipe à l'Université de Sherbrooke au Québec a annoncé la mise en opération d'un nouveau cyclotron qui a commencé à produire l'isotope médical technétium-99m en quantités utiles pour la médecine nucléaire.

En guise de source de technétium-99m, meilleure que les réacteurs nucléaires, l'équipe de l'Université de Sherbrooke dirigée par la Professeure Brigitte Guérin utilise un cyclotron depuis quelques années pour produire plusieurs sortes d'isotopes médicaux, dont le technétium-99m. En février 2012, une autre équipe de chercheurs en médecine nucléaire a aussi annoncé des progrès importants dans le développement du cycle total de production du technétium-99m à partir de cyclotron d'hôpital. Cette équipe est associée au grand laboratoire TRIUMF près de Vancouver, et comprend aussi des chercheurs du Lawson Health Research Institute, et du Centre for Probe Development and Commercialization. Ces chercheurs ont présenté en février 2012 leurs travaux au congrès annuel de la American Association for the Advancement of Science. L'équipe menée par TRIUMF a insisté sur le fait qu'un cyclotron d'hôpital, avec modifications appropriées, peut fournir tout le technétium-99m dont une grande ville comme Vancouver peut avoir besoin.



© CHUS Sherbrooke

Gros plan sur le cyclotron du CHUS de Sherbrooke.

En juin 2012 une équipe dirigée par le Dr Sandy McEwan, de l'Université de l'Alberta à Edmonton, annonçait aussi un succès important dans l'utilisation d'un cyclotron pour produire du technétium-99m en quantités importantes.

Ces nouveaux succès au Québec, en Colombie Britannique et en Alberta sont en bonne partie le résultat d'une initiative fédérale mise sur pied par la Ministre fédérale des Ressources Naturelles du Canada, l'honorable Lisa Raitt. En 2009 elle avait formé un comité scientifique afin d'étudier et de recommander des voies d'avenir pour assurer une production fiable et permanente de technétium-99m. En mars 2010 le gouvernement fédéral annonçait sa décision de ne pas construire de réacteurs nucléaires dans ce but, mais plutôt de miser sur l'utilisation des cyclotrons pour la production de technétium-99m dans chacune des grandes villes canadiennes¹.

Le temps de demi-vie du technétium-99m est de seulement 6 heures, de sorte qu'un temps de transport de 6 heures diminue sa radioactivité de moitié, d'où l'avantage de le fabriquer sur place en hôpital à l'aide d'un cyclotron, plutôt que dans des réacteurs nucléaires.

Ce qui est de grande importance dans le document fédéral du 31 mars 2010 est l'insistance du gouvernement canadien sur le fait qu'un réacteur nucléaire produit beaucoup de déchets radioactifs qui coûtent très cher à gérer de façon permanente. On sait que ces déchets demeurent dangereux pendant des milliers d'années. Au contraire, un cyclotron, qui est fondamentalement de nature électromagnétique, ne produit pratiquement pas de déchets radioactifs. Pour produire du technétium-99m, le cyclotron accélère des protons à environ 16 millions d'électron-volts. Les protons frappent une cible de molybdène-100 et le transmutent directement en plusieurs isotopes du technétium, dont le technétium-99m.

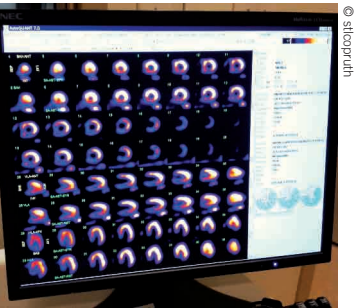
Suite au rapport de la Ministre Lisa Raitt, le gouvernement fédéral canadien a investi plus de 35 millions de dollars dans le développement de cyclotrons pour les isotopes médicaux. Les cyclotrons pourront être placés tout près des hôpitaux importants afin de minimiser la perte de radio-isotopes due à la courte demi-vie. Pour la même quantité de technétium-99m, on s'attend à ce que la production en cyclotron coûte environ dix fois moins que la production en réacteur nucléaire.

Utilité des isotopes radioactifs en médecine nucléaire

En plus du technétium-99m, il y a environ une vingtaine d'autres radio-isotopes qui sont utilisés en médecine nucléaire. En voici une liste non-exhaustive tirée de Wikipedia² à des fins de diagnostic : fluor-18, gallium-67, krypton-81m, rubidium-82, azote-13, indium-111, iode-123, xenon-133, thallium-201. Pour la destruction des tumeurs cancéreuses on utilise de plus les radio-isotopes suivants : césium-137, cobalt-60, iridium-192, iode-125, palladium-103, ruthénium-106, yttrium-90, et iode-131.

Suivant le type de radio-isotope utilisé on obtient une émission d'électrons énergétiques (les rayons

Analyse du myocarde d'un patient atteint d'une maladie du coeur, grâce à deux radio-isotopes, le thallium-201 et le technétium-99.



© iupac/ceps

Notes :

1 : <http://nrcan.gc.ca/eneene/sources/uranuc/isotopes-gc-re-fra.php>

2 : http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_medicine

bits bêta), de positrons ou de rayons gamma qui sont en général assez pénétrants pour traverser le corps humain. Un médecin nucléaire choisira le radio-isotope et la molécule porteuse, donc le "radio-traceur", le mieux adapté à l'organe en dysfonctionnement.

Au cours des quatre dernières décennies les biochimistes ont créé une vaste panoplie de ces molécules radio-traceurs afin de cibler certains organes manifestant un dysfonctionnement. La différence extrêmement importante entre une image 3-D créée à l'aide des radio-traceurs et celle produite par un tomographe classique à rayons X (en anglais CAT-scan) est que la première met un accent particulier sur la partie de l'organe dont la fonction est en dysfonctionnement, tandis que la deuxième montre seulement l'architecture de l'organe. Cette différenciation est possible parce que la molécule choisie pour porter le radio-isotope va choisir de réagir avec des biomolécules résultant du dysfonctionnement de l'organe. Il existe aussi des radio-traceurs adaptés au visionnement des vaisseaux sanguins et d'autres pour détecter des fractures des os.



© CHUS Sherbrooke

La technologie appelée TEP, pour tomographie par émission de positrons, est en fait plus précise que l'imagerie obtenue avec le technétium-99m. La technique TEP utilise les isotopes suivants qui sont des émetteurs de positrons³ : le fluor-18, le carbone-11, le gallium-68, le cuivre-64, l'iode-124 et le zirconium-89. Quand le positron se recombine avec un électron, deux rayons gamma sont émis simultanément en directions opposées. À l'aide d'un système de détecteurs placés tout autour du patient couché et fonctionnant en coïncidence, on

peut identifier avec précision la position spatiale de l'émetteur. On fait avancer le patient sur un lit mobile afin d'obtenir des données sur la partie du corps voulue. Avec les logiciels d'analyse appropriés, on peut construire une image tridimensionnelle précise des sources émettrices qui sont liées à des organes en dysfonctionnement, ou à des vaisseaux sanguins, ou encore à des os.

Pour des interventions thérapeutiques, on fait appel à des radio-traceurs qui émettent typiquement des électrons énergétiques (rayons bêta) qui ont une portée de l'ordre du millimètre. Une tumeur cancéreuse peut ainsi être détruite sans que les organes voisins soient endommagés par la dose de radiation déposée dans la partie de l'organe ciblée.

La médecine nucléaire n'a pas besoin de réacteurs

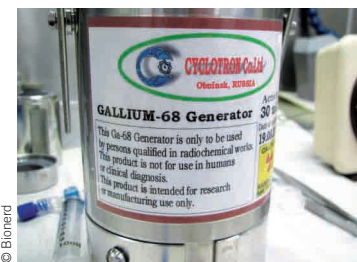
De tous les isotopes utilisés en médecine nucléaire seulement un petit nombre, comprenant notamment le technétium-99m et le cobalt-60, proviennent de réacteurs nucléaires. Les autres sont fabriqués à partir de cyclotrons. D'ici quelques années la communauté internationale utilisant les cyclotrons aura démontré l'utilité et le rendement économique de la fabrication des radio-isotopes. Les progrès annoncés avec les cyclotrons indiquent que les réacteurs nucléaires joueront un rôle moins important en médecine nucléaire.

Pour ce qui est du cobalt-60, son temps de demi-vie est 5,26 années, et il est présent dans les déchets radioactifs des réacteurs nucléaires en quantités considérables. On ne peut donc pas envisager une pénurie de cobalt-60 pour au moins 50 ans. D'autre part, des accélérateurs d'électrons produisent déjà dans les hôpitaux les rayons gamma que le cobalt-60 émet.

On peut envisager sans crainte pour la médecine nucléaire la mise en arrêt permanent de tous les réacteurs nucléaires.

Michel Duguay

Ph.D. en physique nucléaire,
Université de Laval, Québec
Coordinateur de l'association
Sortons le Québec du nucléaire



© Biomed

Source de gallium-68 produite en cyclotron.

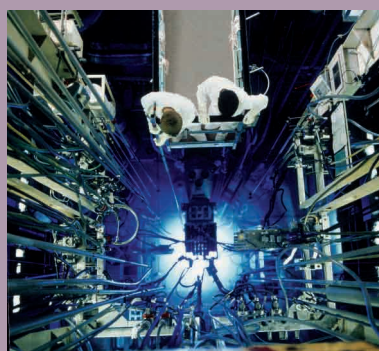
Colonne de gauche :
Serge Phoenix, radiochimiste
au Centre de recherche clinique
Étienne-Le Bel du CHUS, en
pleine manipulation pour la
préparation d'une synthèse
de produit radiopharmaceutique
à l'aide d'une unité robotisée.

Notes :

3 :
http://projects.itn.pt/AF_FCT09/QA107.pdf

Le réacteur Osiris

Le réacteur Osiris du CEA est l'un des 3 réacteurs européens dédiés à la production de technétium-99. En 2016, il devrait être remplacé par le réacteur Jules Horowitz à Cadarache, d'une capacité de production supérieure. Comme l'explique Alain Alberman du CEA, "des cibles d'uranium enrichi sont irradiées pendant une semaine pour produire du molybdène-99, dont la demi-vie est de 66 heures et qui se désintègre spontanément en technétium-99. Une fois irradiées, les cibles quittent Osiris dans des conteneurs en plomb d'un mètre cube pesant 5 tonnes. Dans une usine dédiée, le molybdène-99 est extrait des cibles irradiées, puis la fabrication des sources de technétium-99 est faite par des fabricants spécialisés, comme Cisbio International, qui les envoient aux hôpitaux".



© CEA