



Prescrire un examen de radiologie diagnostique un geste banal ?

Michel Plante

Radiographie, tomodensitométrie (CT scan), médecine nucléaire. On ne pourrait plus s'en passer ! Les images sont plus belles que jamais. En couleurs et en 3D, qui plus est. Tellement populaires en fait que les doses de rayonnement battent des records année après année depuis dix ans. Mais est-ce trop ? Y a-t-il des risques associés à ces examens ? Et surtout, que répondre à votre patient qui s'interroge sur les risques ?

NOUS DEVONS NOUS PROTÉGER du rayonnement ionisant, car à des doses élevées, il produit des effets cancérogènes. Trois sources principales nous en ont donné la preuve. D'abord, le suivi médical minutieux des survivants des explosions nucléaires d'Hiroshima et de Nagasaki (quelques dizaines de milliers de personnes sont encore suivies). Ensuite, l'utilisation largement répandue, jusque dans les années 1950, de doses importantes de rayons X ou de radium contre des affections bénignes. On a ainsi traité le *tinea capitis* chez l'enfant (provoquant des cancers du cerveau, de la thyroïde et des glandes salivaires), la spondylite ankylosante (causant leucémies et ostéosarcomes), la mastite fibrokystique et du postpartum (responsable de cancers du sein), de simples métrorragies (entraînant des cancers du rectum) et l'hyperplasie bénigne

des adénoïdes (causant des cancers du pharynx). Enfin, l'effet cancérogène a aussi été observé chez les travailleurs exposés au rayonnement : leucémie et cancer de la peau chez les radiologistes ; cancer du poumon chez les travailleurs des mines d'uranium ; ostéosarcome chez les applicateurs de radium pour illuminer les cadrans et les montres. Dans tous les cas, les doses étaient très élevées, allant de 500 mSv à 20 000 mSv¹ (voir plus loin).

Ces situations ont toutes été corrigées, la radiothérapie étant réservée de nos jours au traitement des tumeurs. En milieu professionnel, les doses auxquelles sont exposés certains travailleurs (hôpitaux, secteurs miniers et centrales nucléaires) sont maintenant rigoureusement et strictement contrôlées. Elles sont maintenues à des niveaux très bas, comparables à celui du rayonnement naturel. Par conséquent, le recours au rayonnement ionisant à des fins diagnostiques est devenu la principale source d'irradiation, tant sur le plan individuel que collectif (exception faite de la radiothérapie).

En moyenne, chaque année, près d'un Québécois sur dix subit un examen de tomodensitométrie, ce qui

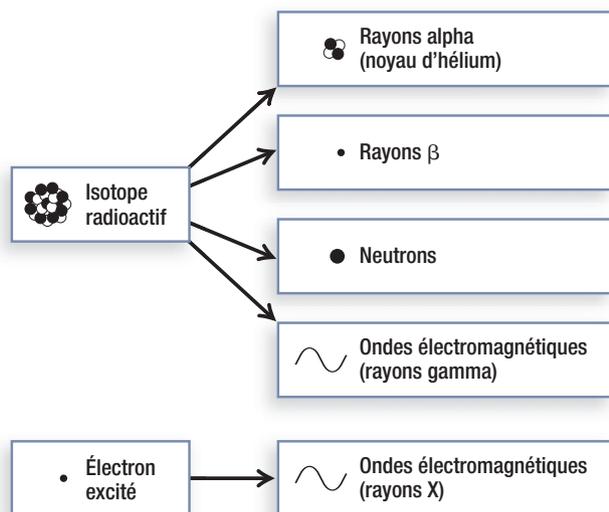
Le Dr Michel Plante, omnipraticien, est médecin-conseil à la Direction de santé et de sécurité d'Hydro-Québec. Il est responsable de la protection de la santé publique en ce qui a trait aux installations et aux activités de l'entreprise. Il enseigne les effets du rayonnement électromagnétique à l'Université de Montréal.

La dose de rayonnement ionisant d'un seul examen diagnostique est nettement plus élevée que la dose annuelle à laquelle sont exposés les travailleurs (professionnels de la santé, mineurs, personnel des centrales nucléaires).

Repère

Figure 1

Types de rayonnement ionisant



représente environ la moitié des doses de rayonnement utilisées à des fins diagnostiques dans la population, la radiographie et les examens de médecine nucléaire représentant l'autre moitié. Le rayonnement provoqué par ces examens est imperceptible et n'entraîne aucun symptôme. Toutefois, est-il lié à un risque accru de cancer ?

Quels sont les différents types de rayonnement ionisant et comment les mesure-t-on ?

On distingue quatre types de rayonnement ionisant (figure 1). L'imagerie médicale ne se sert que des ondes électromagnétiques que sont les rayons X et gamma et dont l'énergie est plus élevée que d'autres ondes comme les ultraviolets et la lumière visible (voir l'article intitulé : « Cellulaires et santé » dans le présent numéro). Les appareils de radiographie et les tomodensitomètres produisent des rayons X en excitant des électrons d'atomes métalliques. Les isotopes radioactifs utilisés en imagerie médicale sont des noyaux atomiques instables qui, en se désintégrant, produisent des ondes électromagnétiques appelées rayons gamma qui s'échappent du patient et permettent d'en faire une image. La plage d'énergie des rayons gamma recoupe celle des rayons X et leur effet sur le corps est, en pratique, le même. Certains isotopes médicaux

émettent, en plus des rayons gamma, un rayonnement de type β . Ce n'est alors pas une onde, mais une particule de la taille d'un électron qui sort à grande vitesse du noyau instable. Cette particule pénètre peu dans les tissus (quelques millimètres). Elle est complètement absorbée par les tissus du corps et y reste piégée. Ces rayons β ne contribuent pas à l'image, mais ils augmentent la dose de rayonnement.

Le rayonnement alpha n'est pas utilisé dans les examens diagnostiques. Il s'agit d'une particule relativement grosse (composée de 2 neutrons et de 2 protons) dont la pénétration dans les tissus biologiques ne dépasse guère l'épaisseur d'une cellule. C'est à la maison que nous sommes principalement exposés au rayonnement alpha, par le radon contenu dans l'air qu'on respire (voir plus loin). Quant aux neutrons, ils font partie des rayons cosmiques qui nous atteignent. Ils sont utilisés pour produire des isotopes médicaux dans les réactions nucléaires, mais cet usage n'entraîne aucune exposition importante.

Toutes ces formes de rayonnement ionisant ont la propriété d'endommager directement le matériel génétique et aussi de former des espèces réactives de l'oxygène qui, à leur tour, peuvent modifier l'ADN.

La dose efficace (*efficient dose*) permet d'évaluer les effets du rayonnement sur la santé par la mesure des dommages biologiques dus au rayonnement et de comparer des expositions de nature différente. Malgré plusieurs approximations dans son calcul, elle demeure le meilleur outil et le plus largement utilisé pour comparer l'effet (essentiellement le risque de cancer) lié à une exposition donnée. La dose efficace s'exprime en sieverts (Sv). Pour les besoins de notre propos, nous utiliserons le millième de sievert ou millisievert (mSv).

Comment peut-on comparer les doses liées aux examens diagnostiques à celles des autres sources de rayonnement ?

Le rayonnement naturel

Les rayons cosmiques, les rayons gamma provenant des éléments radioactifs naturellement présents dans le sol, les éléments radioactifs naturellement présents dans nos aliments et dans l'air correspondent à une dose annuelle d'environ 2,4 mSv (tableau I)². La principale source de rayonnement est le radon, un gaz chimiquement inerte, mais radioactif qui émane

des sols et provient de la désintégration radioactive de l'uranium présent dans la croûte terrestre. Les concentrations de radon dans l'air extérieur sont très faibles en raison de la dilution rapide qui s'y produit et contribuent donc très peu à l'exposition. Par contre, en s'infiltrant dans les sous-sols des maisons, il s'accumule dans l'air intérieur et atteint des concentrations qui sont, en moyenne, quatre fois plus élevées qu'à l'extérieur. La dose efficace qui correspond à ce niveau d'exposition est d'environ 1,2 mSv par an.

L'exposition professionnelle

Au Canada, le règlement sur la radioprotection limite l'exposition des travailleurs à 50 mSv par année, mais surtout à 100 mSv sur cinq ans. La limite pratique est donc de 20 mSv annuellement³. En pratique, les doses annuelles sont beaucoup plus faibles (*tableau I*). Par exemple, à la centrale nucléaire de Gentilly, en exploitation depuis 1983, les travailleurs reçoivent une dose moyenne d'environ 1 mSv par an, soit environ 40 % de la dose naturelle⁴. Les mineurs d'uranium sont exposés chaque année à des doses moyennes de 2 mSv⁵. Quant à la population canadienne qui habite dans le voisinage immédiat des centrales nucléaires ou des mines d'uranium, les doses sont trop faibles pour être mesurées directement. Elles sont estimées par modélisation et sont de l'ordre de 0,001 mSv par an, soit plus de mille fois inférieures au rayonnement naturel⁶.

Une caractéristique importante des expositions professionnelles, outre l'exposition à des rayons naturels, est le très faible débit de dose qui correspond à quelques mSv répartis tout au long de l'année.

Les examens diagnostiques

Le *tableau II* montre les doses efficaces d'un certain nombre de méthodes diagnostiques. Quelques points méritent notre attention :

1. La plage de doses est très étendue : de moins de 1 mSv pour un rayonnement simple du thorax à plus de 50 mSv pour certains examens de tomodensitométrie comportant plusieurs phases d'imagerie⁷.

Tableau I

Le rayonnement naturel et le rayonnement d'origine professionnelle

	Dose annuelle (mSv)
Rayonnement naturel	
☉ Rayonnement cosmique	
☉ Rayonnement direct (neutrons, rayons alpha, rayons gamma)	0,38
☉ Radionucléides produits dans l'atmosphère (carbone 14, béryllium 7, hydrogène 3)	0,01
☉ Sources terrestres	
☉ Rayonnement gamma provenant des sols	0,48
☉ Inhalation de radionucléides (radon 222)	1,26
☉ Ingestion de radionucléides (uranium 238, potassium 40)	0,29
Total	2,42
Exposition professionnelle	
☉ Travailleurs de la centrale nucléaire de Gentilly	1 – 3
☉ Mineurs (mines d'uranium de la Saskatchewan)	2 – 4
☉ Professionnels de la santé	0,5 – 1

2. Les examens de tomodensitométrie et de médecine nucléaire entraînent des doses généralement plus élevées que la radiologie traditionnelle. La dose engendrée par un seul examen de tomodensitométrie de l'abdomen et du pelvis équivaut à celle de 120 radiographies pulmonaires ou encore à cinq ans d'irradiation naturelle. La dose collective (dose moyenne par examen × nombre d'examens) provenant des examens de tomodensitométrie a doublé entre 2000 et 2009. Cette tendance existe aussi

La gamme des doses associées aux examens diagnostiques est très étendue : la dose d'un seul examen de tomodensitométrie de l'abdomen (12 mSv) équivaut à celle de 120 radiographies pulmonaires (0,1 mSv chacune) ou à cinq ans d'irradiation naturelle (2,42 mSv par an).

Repère

Tableau II**Doses efficaces des examens diagnostiques courants**

	Dose médiane (mSv)	
Radiologie traditionnelle		
Extrémités	0,001	
Poumon	0,1	
Mammographie	0,7	
Colonne lombosacrée	1,5	
Repas baryté	6	
Pyélographie endoveineuse	3	
Tomodensitométrie		
Tête et cou	2,6	
Thorax	7,6	8 (2 – 24)
Abdomen	12,3	
Pelvis	7,8	
Abdomen et thorax	14	
Abdomen et pelvis	12,7	15 (3 – 43)
Abdomen, pelvis et thorax	20,3	
Examen de médecine nucléaire		
Scintigraphie osseuse par le Tc 99	4,2	
Scintigraphie cérébrale par le Tc 99	6,9	
Scintigraphie par le G 67 (infection)	18,5	
Scintigraphie cardiaque par le Tc 99 (épreuve de stress avec le sestamibi)	9	
Scintigraphie par le (18F)-fluoro-2-désoxyglucose	14	

aux États-Unis. Les nouveaux appareils, qui permettent d'obtenir de meilleures images et des examens plus rapides, entraînent des doses généralement plus élevées que les appareils des générations

précédentes.

- Une étude québécoise sur la tomodensitométrie a montré une très grande variation pour un même examen⁷. Une observation similaire a également été signalée dans une étude réalisée en 2008 dans quatre centres hospitaliers de San Francisco utilisant des tomodensitomètres provenant pourtant du même fabricant⁸. Ainsi, sur 120 tomodensitométries du thorax, la dose la plus faible s'élevait à 2 mSv et la plus élevée à 24 mSv, la médiane étant de 8 mSv. En moyenne, pour l'ensemble des examens effectués, on a observé une variation de treize fois entre la dose la plus faible et la plus élevée.
- Il y a moins de variation pour les examens de médecine nucléaire puisque la quantité d'isotopes radioactifs injectés détermine la dose reçue et que ces quantités sont assez standard pour chaque type d'examens⁹.
- Alors que les doses associées aux examens de médecine nucléaire sont réparties sur quelques heures, voire quelques jours, il faut garder à l'esprit que les examens radiologiques courants et les tomodensitométries produisent des débits de dose élevés puisque toute la dose est absorbée en quelques secondes tout au plus.

Ces examens sont-ils sûrs ?

Voilà la grande question ! Le cœur du problème vient du fait que la puissance statistique et la précision des meilleures études épidémiologiques existantes sont insuffisantes pour montrer clairement la présence d'un risque accru de cancer à des doses inférieures à quelque 100 mSv. Au-delà de cette valeur, le risque commence à apparaître et est à peu près proportionnel au rayonnement reçu. Cependant, en dessous de 100 mSv, on ne dispose pas d'observation claire montrant un risque de cancer. De grandes études ont tenté d'observer un risque entre 2 mSv et 100 mSv. Celle sur le suivi à grande échelle des travailleurs du secteur nucléaire¹⁰ et des survivants d'Hiroshima et de Nagasaki a plutôt livré des résultats équivoques¹. Le suivi de populations exposées à des doses naturelles

Les études épidémiologiques ne permettent pas d'observer clairement un effet cancérigène à des doses inférieures à 100 mSv.

Repère

plus élevées en raison de la nature des sols (2 mSv – 10 mSv par an) n'a pas réussi à mettre en évidence un risque accru de cancer¹¹, pas plus que le suivi du personnel navigant des sociétés aériennes (les doses de rayons cosmiques sont plus fortes en altitude¹). Bien sûr, ces résultats ne veulent pas dire qu'il n'y a pas de risque à moins de 100 mSv, mais ils signifient plutôt que le risque est trop faible pour être décelé dans les populations visées.

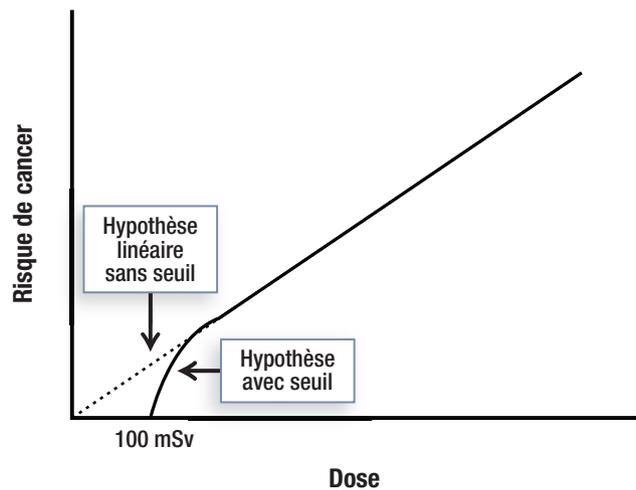
Le rayonnement ionisant n'est pas un cancérigène puissant, car il en faut des doses relativement élevées pour augmenter le risque. Plusieurs organismes nationaux et internationaux ont révisé les données sur le sujet. Leurs conclusions sont relativement convergentes : pour la gamme de doses qui nous concernent, 1000 mSv entraînerait un risque d'environ 5 % de mourir d'un cancer à la suite de cette exposition¹. Il s'agit d'une moyenne. L'âge au moment de l'exposition est aussi un facteur déterminant : le risque est plus grand chez l'enfant et le jeune adulte. Il est aussi généralement un peu plus important chez la femme, en raison principalement de la radiosensibilité du sein.

À défaut de pouvoir observer directement un risque sous 100 mSv, ces mêmes organismes scientifiques proposent, par mesure de prudence, d'adopter le « modèle linéaire sans seuil », selon lequel toute dose, si petite soit-elle, augmenterait le risque de cancer dans la même proportion que celle qui est mentionnée ci-dessus. Par exemple, selon ce modèle linéaire, un examen diagnostique de 10 mSv comporterait un risque de décès par cancer attribuable à cet examen de 0,05 % (soit 100 fois moins que 1000 mSv). Comme la probabilité est d'environ 25 % pour l'ensemble des Canadiens, le fait de passer cet examen ferait passer la probabilité du patient de 25 % à 25,05 %. Cela semble peu, mais le même calcul appliqué à l'ensemble de la population québécoise montre que les tomodensitométries passées au Québec (environ 900 000 par année) provoqueraient dans la population québécoise quelque 600 cas de cancers par an. Voilà qui n'est pas négligeable. Et il faudrait le multiplier environ par deux pour inclure tous les examens de médecine nucléaire et de radiologie. Alors... ces chiffres constituent-ils la réalité ou un risque imaginaire ?

Au centre de ce débat se trouve la validité du modèle théorique d'une relation linéaire sans seuil (figure 2). L'hypothèse remonte aux années 1930 et 1940. Elle

Figure 2

Relation dose-effet : l'hypothèse linéaire sans seuil



avait été proposée par les généticiens qui avaient étudié les effets du rayonnement sur les mutations de la drosophile¹². Depuis ce temps, et en particulier depuis vingt ans, de nouvelles données sur la biologie du cancer et la radiobiologie sont venues jeter un doute sur la validité de ce modèle.

Plusieurs systèmes de défense ont été mis en évidence, dont les mécanismes moléculaires de la réparation de l'ADN, des systèmes antioxydants nécessaires pour contrer les effets nocifs des espèces réactives de l'oxygène produites par le métabolisme normal et les mécanismes d'élimination des cellules anormales par apoptose ou arrêt de prolifération. Tous ces systèmes de défense sont actifs. Toutefois, les dommages cellulaires conduisant à la cancérogenèse surviendraient seulement lorsque leur capacité est dépassée¹³. Ce sont ces données expérimentales qui ont remis en question la validité du modèle linéaire sans seuil. L'existence d'un seuil pour les très faibles doses et les très faibles débits de dose (exposition naturelle et professionnelle) est plausible sur le plan biologique.

ALORS, SÛRES les méthodes diagnostiques ? Pour les examens occasionnant des doses inférieures à 10 mSv (quatre fois le rayonnement naturel annuel), il y a peu de raisons de s'inquiéter. En effet, le risque appréhendé par le modèle linéaire sans seuil

est probablement surestimé et, s'il existe, il est extrêmement faible. Pour les doses entre 10 mSv et 50 mSv, le risque cancérigène, s'il est trop faible pour avoir été mesuré directement – du moins à ce jour –, est probablement réel, car on s'approche des doses pour lesquelles l'accroissement du risque de cancer a été montré dans les études épidémiologiques. De plus, il s'agit d'un débit de dose élevé puisque toute l'exposition survient en quelques secondes.

Les avantages que procurent aux patients les examens diagnostiques sont indéniables. Cependant, les doses individuelles pour certains examens et les doses collectives auxquelles est exposée la population ont considérablement augmenté au cours des vingt dernières années et atteignent désormais des niveaux préoccupants. Pour préserver tous les avantages de ces méthodes diagnostiques, il est bon de garder à l'esprit certaines considérations avant de demander un examen, notamment l'âge du patient, la dose de l'examen prescrit, le nombre d'examens antérieurs, la pertinence de l'examen, les autres méthodes possibles (l'IRM ne produit pas de rayonnement ionisant). Il serait aussi souhaitable de déployer des efforts pour réduire l'écart considérable observé entre les doses d'un même examen de tomodensitométrie. ☞

Date de réception : le 22 décembre 2009

Date d'acceptation : le 20 janvier 2010

Le Dr Michel Plante est médecin-conseil à Hydro-Québec depuis 1982. En 2008, il a offert son expertise de façon ponctuelle à Rogers Communications inc.

Bibliographie

1. Mettler FA, Upton AC. *Medical effects of ionizing radiation*. 3^e éd. Philadelphie : Saunders Elsevier ; 2008. 517 pages.
2. United Nations. *Annex B: Exposures from natural radiation sources*. Dans : Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. New York : United Nations ; 2000. Site Internet : www.unscear.org/docs/reports/annexb.pdf (Date de consultation : le 22 décembre 2009).
3. Gouvernement du Canada. *Règlement sur la radioprotection*. DORS/2000-203. Mise à jour : 30 juin 2009.
4. Hydro-Québec. *Étude d'impact sur l'environnement. Projet de réfection de la centrale de Gentilly 2*. Révision 2 ; février 2006.
5. Commission canadienne de sûreté nucléaire. *L'extraction de l'uranium : les faits sur une industrie bien réglementée*. Ottawa : La Commission ; 2009. Site Internet : www.nuclearsafety.gc.ca/fr/mediacentre/updates/uranium_mining.cfm (Date de consultation : le 23 janvier 2010).

Summary

Prescribing a diagnostic radiology exam: a harmless move?

Humans use protection against high level ionizing radiations because of its carcinogenic effects. The “efficient dose”, expressed in millisievert (mSv), is the best way to measure the biological damage caused by radiation. In Canada, natural radiation carries an average exposure of 2.5 mSv. For diagnostic exams, doses vary from less than 1 mSv to more than 50 mSv, for some procedures of computerized axial tomography. Epidemiological studies have not put in evidence an increased risk of cancer for doses lower than 100 mSv, but it does not mean there is none. Physicians are encouraged to keep in mind radiation dose related to the prescribed exam, patient's age, number of past procedures and to consider alternative ones which do not entail exposition to ionizing radiation.

6. Hydro-Québec. *Résultat du programme de surveillance de l'environnement du site de Gentilly. Rapport annuel 2008*. Site Internet : www.hydroquebec.com/production/classiques/nucleaire/gentilly_2/pdf/prog_surv_radio2008.pdf (Date de consultation : le 25 janvier 2010).
7. Association des physiciens et ingénieurs biomédicaux du Québec. *Étude de doses en tomodensitométrie*; 2009. Site Internet : www.apibq.org/news.php?id=33 (Date de consultation : le 22 décembre 2009).
8. Smith-Bindman R, Lipson J, Marcus R et coll. Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer. *Arch Intern Med* 2009; 169 : 2078-86.
9. Gerber TC, Carr JJ, Arai AE et coll. Ionizing radiation in cardiac imaging: a science advisory from the American Heart Association Committee on cardiac imaging of the Council on Clinical Cardiology and Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. *Circulation* 2009; 119 : 1056-65.
10. Cardis E, Vrijheid M, Blettner M et coll. The 15 country collaborative study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: estimates of radiation related cancer risks. *Radiat Res* 2007; 167 : 396-416.
11. Nair RR, Rajan B, Akiba S et coll. Background radiation and cancer incidence in Kerala, India-Karunagappally cohort study. *Health Phys* 2009; 96 (1) : 55-66.
12. Calabrese EJ. The road to linearity: why linearity at low doses became the basis for carcinogen risk assessment. *Arch Toxicol* 2009; 83 : 203-25.
13. Tubiana M, Feinendegen LE, Yang C et coll. The linear no-threshold relationship is inconsistent with radiation biologic and experimental data. *Radiology* 2009; 251 : 13-22.