

Guide de l'élève

# La santé et la radiophysique

Ressource manitobaine pour le cours de Physique 12<sup>e</sup> année



Canadian Cancer Society  
Société canadienne  
du cancer

Manitoba 

# La santé et la radiophysique :

ressource manitobaine pour le cours de Physique 12<sup>e</sup> année

**Guide de l'élève**



Canadian Cancer Society  
Société canadienne du cancer

**Manitoba** 

616.9940642 La santé et la radiophysique : ressource manitobaine pour le cours de Physique 12<sup>e</sup> année. Guide de l'élève.

Titre de la couv. : Guide de l'élève. La santé et la radiophysique : ressource manitobaine pour le cours de Physique 12<sup>e</sup> année.  
ISBN-13: 978-0-7711-4465-3

1. Cancer – Radiothérapie – Étude et enseignement (Secondaire).  
2. Cancer – Diagnostic – Étude et enseignement (Secondaire).  
3. Radiothérapie – Étude et enseignement (Secondaire). 4. Physique médicale – Étude et enseignement (Secondaire). 5. Physique – Étude et enseignement (Secondaire). 6. Éducation sanitaire (Enseignement secondaire). I. Manitoba. Éducation Manitoba. II. Société canadienne du cancer. III. Manitoba. IV. Titre : Guide de l'élève. La santé et la radiophysique : ressource manitobaine pour le cours de Physique 12<sup>e</sup> année.

# remerciements

La division manitobaine de la Société canadienne du cancer et Éducation, Citoyenneté et Jeunesse Manitoba souhaite reconnaître la participation des personnes ci-après à l'élaboration du programme *La santé et la radiophysique : ressource manitobaine pour le cours de Physique 12<sup>e</sup> année*.

Le présent document et son *Guide de l'enseignant* ont été conçus et élaborés pour aider les élèves à atteindre les résultats d'apprentissage liés au thème de la « santé et radiophysique » du programme d'études de la 12<sup>e</sup> année du Manitoba. Ils fournissent un contexte réel pour l'application des fondements de la radiophysique, tout en établissant d'importants liens avec la santé et le mieux-être des Manitobaines et Manitobains.

## Rédactrice principale

Tanis Thiessen Westgate Mennonite Collegiate, Winnipeg (Manitoba)

## Société canadienne du cancer, Division du Manitoba

Mark McDonald Directeur général

Carolyn Trono Gestionnaire de projet

Linda Venus Directrice principale, Questions d'intérêt public et lutte contre le cancer

George Wurtak Directeur des initiatives autochtones (démissionné en septembre 2008)

## Éducation, Citoyenneté et Jeunesse Manitoba

John Murray Chef de projet, Section de la mise en œuvre, Direction de l'enseignement, des programmes et de l'évaluation, Division des programmes scolaires

Danièle Dubois-Jacques Conseillère pédagogique en sciences de la nature  
Bureau de l'éducation française, Éducation, Citoyenneté et Jeunesse

Aileen Najduch Directrice de la Direction de l'enseignement, des programmes et de l'évaluation, Division des programmes scolaires

## Membres de l'équipe manitobaine de l'étape pilote de Santé et physique

Cliff Dann Dakota Collegiate, Division scolaire Louis-Riel

Brian Dentry Kildonan East Collegiate, Division scolaire River East-Transcona

Greg Johnson Westwood Collegiate, Division scolaire St. James-Assiniboia

Elizabeth Kozoriz Daniel McIntyre Collegiate, Division scolaire de Winnipeg

Heather Marks St. John's Collegiate, Division scolaire de Winnipeg

Gary Myden Hapnot Collegiate, Division scolaire de Flin Flon

Kim Rapko Étudiante en éducation, Université de Winnipeg

Dr Inessa Rozina Technical-Vocational High School, Division scolaire de Winnipeg

Benita Truderung Whitemouth School, Division scolaire Sunrise

## Conseiller scientifique, physique médicale

Dr Daniel Rickey ActionCancer Manitoba, Winnipeg (Manitoba)

## Conseiller pédagogique, physique

Don Metz, Ph.D. Faculté de l'éducation, Université de Winnipeg

## Développement multimédia

Stephen C. Jones Centre de recherche de l'Hôpital Saint-Boniface, Winnipeg, (Manitoba)

## Infographie et production

Doug Coates Edge Advertising, Winnipeg (Manitoba)

Evan Coates Edge Advertising, Winnipeg (Manitoba)

Ed Brajczuk Bluemoon Graphics Inc., Winnipeg (Manitoba)

Céline Ponsin Bureau de l'éducation française (BEF), Éducation, Citoyenneté et Jeunesse

## Traduction

Traductions Freynet-Gagné Translations

Danièle Dubois-Jacques Conseillère pédagogique en sciences de la nature, Bureau de l'éducation française

Publié en 2009 par la Division du Manitoba de la Société canadienne du cancer et le ministère de l'Éducation, de la Citoyenneté et de la Jeunesse du Manitoba

## Références des illustrations

Figure 1-1 : *SassyStock Inc.*; figure 1-2 : *Electro Optics Industries, Inc.*; figure 1-16 : *University of Alabama, AIP Emilio Segre Visual Archives, E. Scott Barr Collection*; figure 1-20 : *Jans Langner 2003*; figure 2-3 : *IMRIS Manitoba*; figures 2-7 et 2-10 : *Institut national du cancer du Canada*; figure 3-6 : *U.S. Department of Energy*; figures 4-6 et 4-7 : *David McMillan 2003*; figure 4-9 : *FN Motol, Prague 2006*; figure 4-10 : *Commission de réglementation de l'énergie nucléaire*; figures 5-2 et 5-3 : *Oak Ridge Associated Universities*; figure 6-10 : *Argonne National Library, AIP Emilio Segre Visual Archives*; figures 2-11, 3-4 et 5-6 : *Tanis Thiessen 2008*.

Toutes les autres illustrations : <http://office.microsoft.com/clipart> and <http://www.bigstockphoto.com>



MINISTER OF EDUCATION, CITIZENSHIP AND YOUTH

Room 168  
Legislative Building  
Winnipeg, Manitoba R3C 0V8  
CANADA

Chers élèves du Manitoba,

Je suis très fier d'annoncer la publication du document intitulé *La santé et la radiophysique : ressource manitobaine pour le cours de Physique 12<sup>e</sup> année*, qui vise à enrichir les expériences d'apprentissage des élèves de physique. Cette ressource importante et opportune vous aidera à acquérir du contenu essentiel dans un contexte utile. Ce document explore les applications sûres et nécessaires des rayonnements aux techniques d'imagerie diagnostique, vous initie au domaine de la physique médicale et présente les traitements possibles pour divers cancers. Il est le fruit d'une collaboration efficace de longue date entre la division du Manitoba de la Société canadienne du cancer et Éducation, Citoyenneté et Jeunesse Manitoba.

Même si de gros progrès ont été réalisés dans l'adoption de stratégies de prévention et de dépistage précoce, il est probable que la plupart des Canadiens seront, au sein de leur famille, en contact direct avec le cancer ou son traitement à un moment ou un autre de leur vie. Pour cette raison, le fait d'être instruit sur les technologies servant à la lutte contre le cancer procurera une meilleure base pour la prise de décisions futures concernant les soins de santé.

Les familles manitobaines sont encouragées par la perspective d'un dépistage plus efficace et de meilleurs résultats pour les personnes atteintes d'un cancer, et nous estimons qu'un solide enseignement des sciences à cet égard contribue à une compréhension plus complète du domaine complexe que constituent la recherche, le diagnostic et le traitement liés au cancer. Ce partenariat avec la Société canadienne du cancer est la preuve d'un engagement envers un enseignement des sciences pertinent ayant une incidence marquée, ici au Manitoba. J'espère que cette nouvelle ressource renforcera votre sensibilisation et votre capacité à prendre des décisions pour ce qui a trait aux soins de santé, en enrichissant vos connaissances techniques relatives à l'application des sciences en vue de satisfaire des besoins humains vitaux.

Je vous prie d'agréer, cher élèves, l'expression de mes meilleurs sentiments.

ŠÁ ā ā d^Á^ÁC á~ &œā } Ě^ÁœÓāí ^ ^}} ^c..  
^ó^ÁœR ^ ^••^,

Ú^c:ÁŃ[] •[] }



Canadian Cancer Society  
Société canadienne du cancer

MANITOBA DIVISION

Le 23 juillet 2009

Chers élèves et enseignants du Manitoba,

La Division du Manitoba de la Société canadienne du cancer est heureuse de financer l'élaboration de ce programme d'études intéressant et informatif en physique médicale – *La santé et la radiophysique : ressource manitobaine pour le cours de Physique 12<sup>e</sup> année* ainsi que son guide destiné aux enseignants. Le projet s'est révélé un partenariat et une collaboration fructueuse entre de nombreuses personnes et organismes, notamment des élèves et enseignants en physique qui ont aidé aux étapes pilotes, des conseillers pédagogiques en sciences du ministère de l'Éducation, de la Citoyenneté et de la Jeunesse, des experts en physique médicale d'Action Cancer Manitoba et du Centre de recherche de l'Hôpital général Saint-Boniface et notre personnel de la Division du Manitoba de la Société canadienne du cancer.

La Division du Manitoba de la Société canadienne du cancer a attribué à ce projet des fonds provenant de donateurs afin de démontrer son engagement envers l'enseignement public des sciences et le bien-être de tous les Manitobains. Notre mandat consiste à servir tous les citoyens du Manitoba qui courent le risque de développer le cancer et ceux qui en sont atteints. Nous avons investi dans ce projet, car il permet une connexion significative avec les jeunes adultes et parce que nous avons la conviction que des citoyens informés sont mieux en mesure de protéger leur propre santé et celle de leurs familles.

Nous croyons que l'information contenue dans cette ressource sur la physique suscitera de l'intérêt chez les élèves et leurs parents, car cette information constitue un excellent manuel de référence sur la technologie de l'imagerie, qui est cruciale pour une bonne partie des soins de santé. L'imagerie et la physique des rayonnements sont également un élément central dans l'expérience que connaissent les patients atteints de cancer.

Nous sommes fiers d'avoir été associés à ce projet et espérons que les élèves, les enseignants et les familles trouveront cette ressource informative et utile pour leur avenir.

Mark A. McDonald  
Directeur général  
Société canadienne du cancer, Division Manitoba

**DIVISION OFFICE**

193 Sherbrook Street  
Winnipeg, Manitoba  
R3C 2B7  
Telephone: (204) 774-7483  
Toll Free: 1-888-532-6982  
Fax: (204) 774-7500  
Email: info@mb.cancer.ca

President  
Jack W. Murray

Executive Director  
Mark A. McDonald

**BRANDON OFFICE**

415 First Street  
Brandon, Manitoba  
R7A 2W8  
Telephone: (204) 571-2800  
Toll Free: 1-888-857-6658  
Fax: (204) 726-9403  
Email: info.brandon@mb.cancer.ca

**BUREAU DIVISIONNAIRE**

193, rue Sherbrook  
Winnipeg, Manitoba  
R3C 2B7  
Téléphone: (204) 774-7483  
Sans Frais: 1-888-532-6982  
Télécopieur: (204) 774-7500  
Courriel: info@mb.cancer.ca

Président  
Jack W. Murray

Directeur general  
Mark A. McDonald

**BUREAU DE BRANDON**

415, rue First  
Brandon, Manitoba  
R7A 2W8  
Téléphone: (204) 571-2800  
Sans Frais: 1-888-857-6658  
Télécopieur: (204) 726-9403  
Courriel: info.brandon@mb.cancer.ca

Cancer Information Service  
Service d'information  
sur le cancer  
1-888-939-3333  
www.cancer.ca

# table des matières

**Introduction** | Pourquoi étudier les liens entre la santé et la radiophysique? Pourquoi cela devrait-il m'intéresser? ...vii

**Chapitre 1** | Technologie de diagnostic par rayonnement ..... 1

ETUDE DE CAS : Francine Yellowquill reçoit son diagnostic

Rayons X

Vérifie tes connaissances : une blessure physique peut-elle être une cause de cancer?

Le spectre électromagnétique

Examens radiologiques

Dans les médias : appareils de détection à rayons X des aéroports

Sources de rayonnement naturel

Savais-tu que : pour en finir avec le mythe des rayons N!

Tomodensitométrie (TDM)

Le lien avec le cancer : les rayons X, la tomodensitométrie et les examens TEP augmentent-ils les risques de cancer?

SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : les prochaines étapes de Francine

Tomographie par émission de positrons (TEP)

Choix de carrière : technologue en médecine nucléaire

Révision du chapitre 1 : concepts et termes

**Chapitre 2** | Autres technologies de diagnostic ..... 13

SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : Francine a des questions au sujet du rayonnement

Imagerie par résonance magnétique (IRM)

Vérifie tes connaissances : les champs magnétiques générés par les lignes de transport d'électricité peuvent-ils causer le cancer?

Ultrason

Le lien avec le cancer : le gène suppresseur de tumeur du Dr Sorenson

Lavement baryté et coloscopie

Savais-tu que : production canadienne d'isotopes

Isotopes médicaux

Dans les médias : le cobalt-60 et la filière canadienne

Comparaison des technologies et techniques de diagnostic

SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : le diagnostic de Francine

Choix de carrière : spécialiste en radioprotection

Révision du chapitre 2 : concepts et termes

**Chapitre 3** | Effets du rayonnement sur le corps humain ..... 21

SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : Francine a d'autres questions

Rayonnement non ionisant

Le lien avec le cancer : rayonnement ultraviolet

Rayonnement ionisant

Vérifie tes connaissances : le rayonnement émet-il une lueur verte?

Effets somatiques

Savais-tu que : Hiroshima et Nagasaki

Effets génétiques

Dans les médias : Fat Man and Little Boy—la filière winnipegoise

Prolongement : les unités de mesure – une approche historique

SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : l'intervention chirurgicale de Francine

Choix de carrière : expert-conseil en environnement

Révision du chapitre 3 : concepts et termes

**Chapitre 4** | Radiothérapie ..... 31

SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : le traitement de Francine  
Historique de la radiothérapie  
Savais-tu que : eau potable chlorée et risque de cancer  
Thérapie radio-isotopique  
Méthodes de traitement internes : la curiethérapie  
Le lien avec le cancer : thérapie photodynamique  
Méthodes de traitement internes : la radiothérapie systémique  
Dans les médias : l'accident de Tchernobyl... Deux décennies plus tard  
Méthodes de traitement externes : la téléthérapie  
Vérifie tes connaissances : le lavement baryté est-il dangereux?  
Le couteau gamma  
Choix de carrière : Radio-oncologue  
SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : la décision finale  
Révision du chapitre 4 : concepts et termes

**Chapitre 5** | Radioactivité ..... 41

SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : la vie après le cancer  
Historique de la radioactivité  
Le lien avec le cancer : le radium... la panacée?  
Modèle nucléaire de l'atome  
Vérifie tes connaissances : les aliments irradiés ou chauffés au four micro-ondes sont-ils radioactifs?  
Désintégration radioactive  
Dans les médias : quarks et désintégration radioactive  
Période radioactive  
Savais-tu que : compteurs Geiger et détection de la désintégration  
Unités de mesure  
Choix de carrière : physicien médical  
Révision du chapitre 5 : concepts et termes

**Chapitre 6** | Autres applications du rayonnement ..... 51

SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : le verdict final  
Applications du rayonnement ionisant : la stérilisation  
Savais-tu que : l'intrigue de Litvinenko, du thallium et de l'usage de produits radioactifs par la Russie  
Applications du rayonnement ionisant : méthodes par traceur en médecine nucléaire (exploration gamma)  
Dans les médias : la controverse entourant les isotopes médicaux canadiens  
Applications du rayonnement non-ionisant : les lits de bronzage  
Le lien avec le cancer : les lits de bronzage sont-ils sécuritaires?  
Applications du rayonnement non ionisant : les communications  
Vérifie tes connaissances : le téléphone cellulaire peut-il causer le cancer?  
Applications du rayonnement non ionisant : les fours à micro-ondes  
Choix de carrière : physicien opérateur d'accélérateur  
Révision du chapitre 6 : concepts et termes



# introduction

*Pourquoi étudier les liens entre la santé et la radiophysique?*

*Pourquoi devrais-je savoir quelque chose à ce sujet?*

*Pourquoi cela devrait-il m'intéresser?*

Peut-être pouvons-nous répondre à ces questions par d'autres questions : « Quels sont les risques ou les probabilités pour moi de développer un cancer? » Ou, « Quels sont les risques pour un membre de ma famille de développer un cancer? » Selon des statistiques récentes publiées par la Société canadienne du cancer, presque 40 % des femmes canadiennes et environ 45 % des hommes canadiens seront atteints d'un cancer à un moment donné de leur vie. La Société canadienne du cancer affirme aussi qu'environ un Canadien sur quatre mourra d'une certaine forme de cancer (Statistiques canadiennes sur le cancer, 2008).

Cela devrait suffire à retenir notre attention, du moins aux fins de sensibilisation et de prévention – et non pas pour susciter des inquiétudes ou des craintes excessives. Il est très probable que toi-même ou un membre de ta famille puissiez développer un cancer ou en mourir. Voilà quelle est la réalité. Peut-être as-tu déjà été touché d'une manière ou d'une autre par une certaine forme de cancer? Ou peut-être est-ce le cas d'un membre de ta famille? Cela seul devrait suffire à te convaincre de l'utilité d'établir des liens entre, d'une part, la santé et le bien-être, et, d'autre part, la théorie physique dans le cadre d'un cours de physique du secondaire. Nous souhaitons aussi examiner les outils technologiques nouveaux et existants qui servent à diagnostiquer et à traiter le cancer et d'autres maladies. Cela pourrait être une bonne chose. Mais, encore une fois, peut-être n'es-tu pas encore convaincu de l'importance que cela peut avoir. Il se peut que le cancer n'ait jamais frappé ta famille et que tu sois convaincu de compter parmi les trois Canadiens sur quatre qui ne mourront pas de cette maladie. De nombreux élèves de physique sont uniquement intéressés à connaître les aspects concrets de cette discipline et à trouver une façon d'utiliser le cours d'introduction à la physique pour accéder au programme collégial ou universitaire de leur choix. L'objectif que nous poursuivons ici est de présenter la physique sous un angle différent – d'en donner une image plus humaine qui s'inscrit dans notre cheminement de vie. Alors, pourquoi donc étudier les liens entre la santé et la radiophysique?

Tentons maintenant de répondre à la question « Pourquoi cela devrait-il m'intéresser? » en nous posant une autre question : « Que ferais-je après l'obtention de mon diplôme? » Sais-tu quel type de carrière t'intéresse? Deux des domaines dans lesquels on trouve toujours plus de possibilités d'emplois – et qui reposent sur une base solide en sciences physiques – sont la physique médicale et la radioprotection. Par exemple, la technologie de la médecine nucléaire est une carrière émergente qui n'exige généralement que deux ou trois années d'études postsecondaires. Il existe de nombreuses autres possibilités de

carrière qui exigent une connaissance du rayonnement et de la physique.

Même si ta réponse à la question « Pourquoi cela devrait-il m'intéresser? » est que tu as besoin de ces crédits pour être accepté dans un programme postsecondaire, tu trouveras dans ce cours, nous le souhaitons, des connaissances pratiques sur la façon dont la radiophysique se manifeste dans ta vie quotidienne — par l'entremise du soleil et par l'usage de la technologie des rayons X, des micro-ondes et des technologies des communications.

Ce guide d'apprentissage te présente une étude de cas fictive, soit celui de Francine Yellowquill, une jeune femme que tu suivras à travers les différentes étapes de son diagnostic et de son traitement. Engagée sur la voie de la guérison, elle souhaite en savoir davantage sur les technologies utilisées et sur les effets du rayonnement sur le corps humain. Au bout du compte, elle commence à se demander dans quelles circonstances au cours de sa vie elle a aussi été exposée à des sources de rayonnement (autres que celles utilisées pour l'établissement de son diagnostic et pour son traitement). Au fil de son récit, nous examinerons les sujets qui illustrent le processus mental typique d'un patient. Nous aborderons les technologies de rayonnement, des faits historiques importants et des points de théorie. Tu auras aussi l'occasion d'établir des liens entre la radioprotection, la physique médicale et certains principes de physique.

Chaque chapitre comporte cinq sections exploratoires à l'intention des élèves intéressés. La section « Le lien avec le cancer » t'explique en quoi le sujet abordé dans chacun des chapitres se rapporte au cancer ou aux technologies utilisées pour traiter cette maladie. La section « Vérifie tes connaissances » traite de certaines idées généralement répandues au sujet du rayonnement. La section « Savais-tu que... » te donne la chance de découvrir des aspects moins bien connus de l'histoire de cette branche de la physique. La section « Dans les médias » examine des articles de journaux et des films du grand écran qui traitent du rayonnement et de ses effets. Pour terminer, la section « Choix de carrière » te présente différentes possibilités d'emploi dont tu n'avais peut-être pas entendu parler ou que tu n'avais pas envisagées et qui reposent sur une bonne connaissance de la radioprotection et de la physique médicale.

*Commençons par le récit de Francine...*

# chapitre 1

## Technologie de diagnostic par rayonnement

### ÉTUDE DE CAS : Francine Yellowquill reçoit son diagnostic

**Francine Yellowquill** est une adolescente active qui pratiquait toutes sortes de sports, tout particulièrement la gymnastique. Elle s'entraînait régulièrement au salto, à l'appui renversé et aux sauts complexes au cheval d'arçons et à la poutre. Un jour où elle tentait une nouvelle manœuvre à la descente de la poutre, elle a chuté accidentellement sur la tête. Une douleur insoutenable lui a traversé le dos, comme si elle avait été piquée en même temps par des milliers d'aiguilles chaudes. Son entraîneur s'est précipité immédiatement à ses côtés et a appelé l'ambulance. L'urgentiste lui a posé quelques questions clés puis a aussitôt ordonné un rayon X. « Vous avez peut-être subi une fracture de deux ou trois vertèbres cervicales », lui a-t-on expliqué après l'examen. Le médecin a ensuite exigé un tomodensitogramme, qui a permis de confirmer le diagnostic initial de fractures des vertèbres cervicales.

Au moment de subir ces épreuves diagnostiques, Francine (qui a toujours été intéressée par les explications techniques) a commencé à poser des questions : « Quels types de technologies allez-vous utiliser pour le diagnostic ? Comment fonctionnent ces appareils d'imagerie ? Pourquoi avez-vous eu besoin d'utiliser plus d'un type d'imagerie ? Le médecin pourrait-il aboutir au même diagnostic sans recourir à des moyens technologiques utilisant le rayonnement ionisant ? »



Figure 1-1

## Rayons X

À la fin de l'année 1895, Wilhelm Roentgen menait des travaux au moyen d'un tube cathodique dans son laboratoire de l'Université Wuerzburg, en Allemagne. Au cours de ses expériences, il avait observé que des cristaux phosphorescents se mettaient à luire en présence du tube activé. Lorsque Roentgen eu produit un vide dans le tube et appliqué un voltage élevé aux électrodes, une lueur fluorescente est apparue. Il en conclut que son appareil produisait un nouveau type de rayonnement. Des expériences ultérieures l'ont amené à conclure que ce rayonnement pouvait traverser la plupart des substances. Il venait de découvrir ce que nous nous appelons familièrement les « rayons X ». La lettre « X » utilisée dans cette appellation provient du mot grec « *xenos* » qui signifie quelque chose d'« étranger » par rapport à l'expérience courante.

Un rayon X est un photon, ou faisceau d'énergie, essentiellement dépourvu de masse et de charge électrique. Sa longueur d'onde caractéristique se situe entre 0,01 et 10 nanomètres (nm). Comme les rayons X sont produits par l'accélération d'électrons projetés vers une cible (au moyen d'une grande différence de potentiel), il ne s'agit pas d'une forme naturelle de rayonnement. Les rayons X sont utilisés aussi bien en radiologie qu'avec les appareils de tomodensitométrie (TDM).

Les **rayons X** sont une forme de rayonnement de plus petite longueur d'onde que le rayonnement ultraviolet. Dans la plupart des applications médicales, les rayons X sont de longueur d'onde suffisamment courte pour avoir un comportement se rapprochant davantage de celui de la particule que de celui de l'onde. Ainsi, on privilégie leurs qualités de particules plutôt que leur nature ondulatoire. En radiocristallographie — où les rayons X servent à déterminer la structure des cristaux — c'est plutôt l'inverse.

Les décennies qui ont suivi la découverte des rayons X par Roentgen ont donné lieu à une expérimentation généralisée et anarchique de cette nouvelle forme de rayonnement. De ce fait, des expérimentateurs ont subi de graves lésions corporelles par surexposition à cette forme de rayonnement. De manière générale, en raison de leur apparition progressive, ces lésions n'étaient pas attribuées aux rayons X. À une certaine époque, on voyait même les assistants des boutiques de chaussures utiliser les rayons X pour déterminer la pointure des enfants ! Toutefois, l'émergence ultérieure du domaine de la radioprotection a limité les dangers associés aux technologies utilisant le rayonnement tout en permettant de poursuivre l'exploration de leurs avantages potentiels et réels.

## Vérifie tes connaissances

*Une blessure physique peut-elle être une cause de cancer?*

**Origine de la croyance :** De la fin du 19<sup>e</sup> siècle jusqu'à la fin des années 1920, des scientifiques croyaient que les blessures (ou lésions corporelles) pouvaient causer le cancer, et ce, en dépit de l'absence de toute preuve expérimentale convaincante. De nombreux patients venus consulter pour des blessures physiques ont subi des épreuves d'imagerie par rayons X qui ont permis de découvrir la présence de tumeurs.

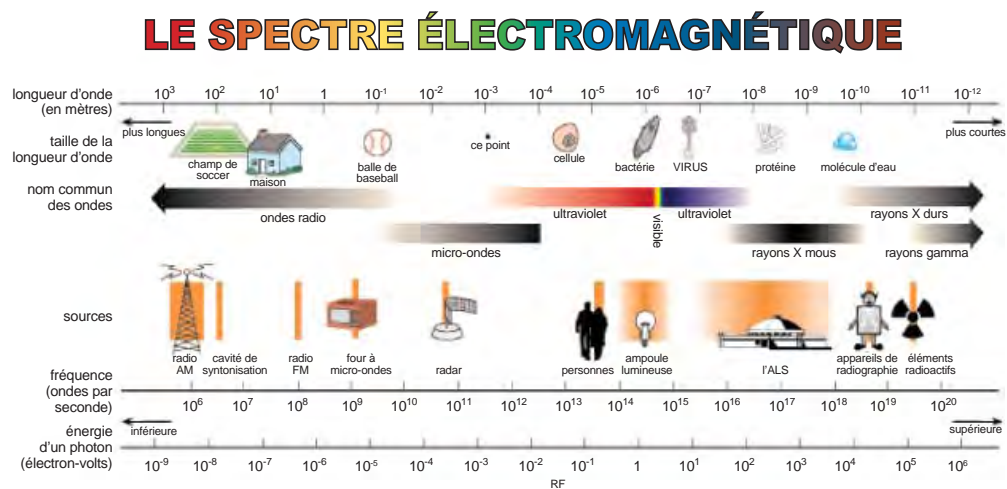
**Les faits :** Une chute, une contusion ou toute autre blessure n'est presque jamais la cause d'un cancer. Généralement, en présence de blessures, le médecin exige une épreuve quelconque par imagerie, et il arrive que l'analyse des images permette de détecter la présence d'une tumeur. Cela ne signifie toutefois aucunement que la blessure est à l'origine de la tumeur. Celle-ci était déjà présente. L'épreuve diagnostique a simplement permis de la déceler alors que le technicien avait pour tâche de réaliser des images permettant de déceler des lésions aux os ou aux tissus.

Terry Fox, un Canadien bien connu décédé en 1981, avait été un adolescent actif qui pratiquait de nombreux sports jusqu'à ce qu'une blessure à un genou l'exclut de la pratique du sport à l'âge de 18 ans. Les épreuves diagnostiques et le traitement ont révélé la présence d'un cancer des os, et il a dû être amputé de la jambe droite au-dessus du genou. On se souvient surtout de Terry en raison de son Marathon de l'espoir, une traversée du Canada d'un océan à l'autre destinée à amasser des fonds pour la recherche sur le cancer. Son héritage survit à travers la Fondation Terry Fox.

Source : Gansler, Dr. Ted. "Discovery Health: Top 10 Cancer Myths: Myth 7". Discovery Health s.d.. le 29 juillet 2008 <<http://health.discovery.com/centers/cancer/top10myths/myth7.html>>.

## Le spectre électromagnétique

Lorsque tu écoutes la radio, regardes la télévision, cuis des aliments au four à micro-ondes, utilises un lit de bronzage ou passes un rayon X chez le médecin, tu utilises des ondes électromagnétiques. Une **onde** est simplement une vibration qui se propage à travers un médium comme l'air. Une **onde électromagnétique** est une vibration produite par l'accélération d'une charge électrique. Bien que nous ne puissions pas réellement « entendre » les ondes sonores, nos oreilles peuvent réagir à ces ondes mécaniques, et c'est grâce à une telle réaction que nous pouvons entendre. La lumière visible, qui fait partie du spectre électromagnétique, nous permet de « voir » les couleurs car la longueur d'onde des photons émis par les sources lumineuses se situe dans le domaine que nos récepteurs oculaires peuvent traduire en couleur rouge, bleue, verte et autres. Chez l'humain, d'autres types d'ondes ne sont perceptibles ni par la vue ni par l'ouïe. Les micro-ondes et les rayons X en sont deux exemples.



La figure 1-2 montre les différents niveaux d'énergie, fréquences et longueurs d'ondes du spectre électromagnétique. Notez que les ondes de fréquence radio sont parmi celles qui ont la plus grande longueur d'onde, et que les rayons X ont une longueur d'onde incroyablement petite. La fréquence (et la quantité d'énergie) d'une onde augmente de façon inversement proportionnelle à sa longueur.



L'atténuation tissulaire est un concept important pour comprendre ce que sont les rayons X et comment leur pénétration dans les tissus influe sur la qualité des images.

Dans une pièce sombre, projette le faisceau d'une lampe de poche sur une feuille de papier que quelqu'un tient dans la main. Quelle quantité de lumière traverse la feuille?

Maintenant, plie la feuille en deux et répète l'expérience.

Quelle quantité de lumière traverse la feuille double par comparaison à la feuille simple?

Cette expérience t'aide-t-elle à mieux comprendre le principe de la radiographie?

La figure à la page précédente illustre les tailles, fréquences et longueurs relatives des différents types d'ondes électromagnétiques. La portion visible du spectre électromagnétique (la lumière) n'en représente qu'une petite portion. Les rayons ultraviolets, X et gammas ont tous une longueur d'onde inférieure et une fréquence supérieure à celles des ondes du spectre visible. En revanche, l'ultrason — souvent utilisé en imagerie médicale — n'est pas une onde électromagnétique, mais plutôt une onde acoustique de fréquence trop élevée pour être perçue par l'oreille humaine.

### Questions : Le spectre électromagnétique

- 1 Calcule la longueur des ondes de radiofréquence émises par une station radio FM qui diffuse à une fréquence de 88 MHz. (Au moyen de la formule  $v = f\lambda$ , détermine la vitesse de propagation du son dans l'air à une température de 20 °C à partir de tes tableaux de valeurs.)
- 2 Quelle est la différence entre les rayons X « mous » et les rayons X « durs » (mentionnés à la Figure 1-2)?
- 3 Quelle est la longueur d'onde utilisée par les téléphones cellulaires par comparaison à celle des rayons gamma utilisés pour les examens TEP? Laquelle a le niveau d'énergie le plus élevé?
- 4 Quelle est la différence entre le rayonnement ultraviolet A (UVA) et le rayonnement ultraviolet B (UVB)?
- 5 Quelle est la différence entre les ondes acoustiques audibles et l'ultrason? Les ondes acoustiques font-elles partie du spectre électromagnétique?

### Examens radiologiques

Le « X » de l'expression « rayons X » est le même que le symbole « x » utilisé par les mathématiciens pour représenter une valeur « inconnue ». Au moment de leur découverte, il demeurait de nombreuses « inconnues » par rapport aux rayons X. Rappelle-toi le lien avec le mot grec « *xenos* », qui signifie « étranger ».

Les appareils de radiographie utilisent une forme de rayonnement électromagnétique produit lorsque des électrons sont soumis à une grande différence de potentiel, c.-à-d., à un voltage élevé. Les électrons acquièrent ainsi tellement d'énergie potentielle que celle-ci se transforme en énergie cinétique : leur vitesse s'accélère, et ils entrent en collision avec la plaque de métal cible. Le changement rapide de vitesse entraîne l'émission de rayons X. Le technicien dirige la salve de rayonnement produite par l'appareil vers le patient en plaçant le bras articulé de l'appareil au-dessus de la surface du corps à examiner (voir la figure 1-3). Les rayons X traversent le corps, et une image des tissus traversés est reproduite sur un film photographique ou générée par technologie numérique. Comme la densité varie selon les tissus du corps, l'image présente des zones plus claires (qui indiquent la présence de tissus plus denses laissant passer moins de rayons X) et des zones plus sombres (qui indiquent la présence de tissus moins denses laissant passer davantage de rayons X). On appelle l'image ainsi obtenue une **radiographie**. Les radiographies donnent une image claire des os et de leurs lésions potentielles; elles sont toutefois peu utiles pour produire des images des tissus mous suffisamment claires pour servir à des fins diagnostiques. La réduction du nombre de rayons X pouvant traverser les tissus denses s'appelle l'**atténuation**, ou « perte ».

L'**arthrographie** est une technique radiologique qui utilise une substance comme l'iode (mélangée à l'eau) que l'on injecte dans l'espace situé entre les articulations. La radiographie ainsi obtenue permet d'observer le fonctionnement de l'articulation et son anatomie structurale.

La **mammographie** est un examen radiologique spécialisé qui utilise un rayonnement X de faible intensité pour produire des images des tissus mammaires. Le technicien en radiologie utilise ces images pour détecter des différences de densité, la présence de masses ou de calcifications susceptibles d'indiquer la présence de tumeurs. Les rayons X de faible intensité produisent des images de définition supérieure. Les rayons X de haute intensité sont rapides et produisent des radiographies indistinctes moins contrastées en raison de l'atténuation moindre produite par les tissus visés.

*Figure 1-3 Cet appareil de radiographie comprend une table pour le patient et un plateau sous la table destiné à recevoir le film radiographique. La source de rayons X se trouve dans le bras articulé au-dessus du lit. Il est à noter que si le patient était allongé, le bras serait retourné de manière à diriger les rayons X vers le bas plutôt que vers le mur de gauche (comme c'est le cas sur la photo).*



Figure 1-3

## activité

### Analyse des radiographies

Voici neuf radiographies de différentes parties du corps humain. Imagine que tu es le technicien en radiologie chargé d'analyser chacune de ces radiographies ou d'éclairer le médecin traitant. Vois-tu quelque chose d'anormal dans l'une ou l'autre de ces radiographies? Que pourraient indiquer les zones anormales? Pourquoi certaines zones sont-elles plus claires? Pour chacune des radiographies, déterminez en petits groupes si les différences de clarté sont davantage attribuables à la densité, à l'épaisseur ou à la nature des tissus (coefficient d'atténuation).



Figure 1-4 thorax



Figure 1-5 molaires

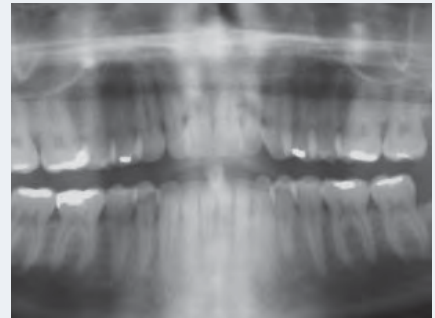


Figure 1-6 cliché panoramique des dents



Figure 1-7 avant-bras

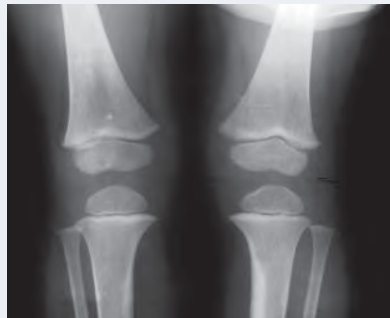


Figure 1-8 genoux



Figure 1-9 avant-bras

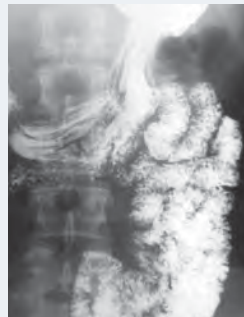


Figure 1-10 côlon



Figure 1-11 crâne

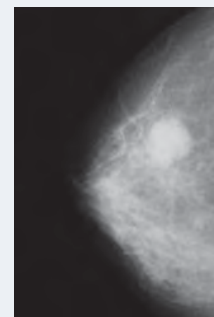


Figure 1-12 sein

## Enquête :

Pourquoi utilise-t-on l'iode plutôt que toute autre substance pour les arthrographies?  
À quoi le terme calcification fait-il référence?

## Question :

Observe que l'articulation du poignet de la figure 1-13 est plus claire que les articulations des doigts.  
Qu'est-ce que cela signifie du point de vue de la densité comparative des os ou de l'épaisseur des tissus osseux?

**Figure 1-13**

Voici une radiographie d'une main. Observe l'image bien contrastée et détaillée des os, y compris les zones plus claires et plus sombres. On peut utiliser les rayons X pour déterminer si une personne souffre d'ostéoporose en comparant la densité des zones osseuses et en recherchant de la dégradation potentielle.

Tu souhaites en savoir plus sur le modèle nucléaire de l'atome? **Va au chapitre cinq!**



## Dans les médias

Dans les aéroports partout au monde, les appareils de détection à rayons X sont une composante essentielle du dispositif de sécurité. On s'en sert pour inspecter les bagages de soute et les bagages à main et pour s'assurer qu'aucun accélérateur, arme ou autre substance ou objet dangereux ne soit transporté à bord de l'avion. Aux États-Unis, le National Council on Radiation Protection poursuit ses recherches auprès du grand public afin de déceler tout signe d'exposition aux rayonnements attribuable à de tels appareils. À ce jour, ses études attestent du fait que ces appareils ne sont responsables que d'un très faible taux d'exposition. Pour connaître les plus récentes conclusions de l'organisme, consulte son site Web à : [www.ncrponline.org](http://www.ncrponline.org) (site anglais)



*Figure 1-14*

## Sources de rayonnement naturel

Le noyau d'un atome instable peut se désintégrer, ou se transformer, et émettre de l'énergie sous forme de particules ou d'ondes. Il existe de nombreuses sources de rayonnement naturel, dont le rayonnement stratosphérique auquel sont exposés les voyageurs à bord d'un avion et le gaz radon qui émane de la terre. Nous traiterons principalement des trois formes de rayonnement suivantes : alpha, bêta et gamma.

La **désintégration alpha** survient lorsque le noyau d'un atome instable émet une particule alpha. De charge positive, la **particule alpha** ne se distingue pas essentiellement du noyau d'un atome d'hélium. La raison pour laquelle les scientifiques n'en parlent pas comme d'un noyau d'hélium est qu'à l'époque de leur découverte, la nature des particules alpha n'était pas entièrement comprise. Ce n'est que beaucoup plus tard que les scientifiques ont été en mesure de déterminer qu'il s'agissait de deux protons et de deux neutrons se déplaçant ensemble. Les isotopes des éléments qui émettent des particules alpha sont connus sous le nom d'émetteurs alpha.

Les particules alpha ont une charge énergétique très élevée mais un faible pouvoir de pénétration. En fait, une simple feuille de papier suffit à les arrêter. Quoi qu'il en soit, chez l'humain, leur inhalation et leur ingestion peuvent se révéler hautement nocives.

L'uranium 238 est un exemple de substance qui subit une désintégration alpha. Le noyau résiduel, dit noyau engendré, renferme deux protons et deux neutrons en moins. Il forme le centre de l'atome de thorium 234. Au terme d'un changement subatomique, ou **transmutation**, l'uranium se transforme en un élément chimique complètement différent. Tu as appris dans un cours de science antérieur que c'est le nombre de protons du noyau qui définit de manière unique tout élément.

La **désintégration bêta** survient lorsqu'un atome instable émet une particule bêta. Une particule bêta peut être soit un électron ou un proton capable de se propager à grande vitesse. Si le processus de désintégration entraîne l'émission d'un électron, on parle de désintégration bêta moins ( $\beta^-$ ); si elle entraîne l'émission d'un proton, on parle de désintégration bêta plus ( $\beta^+$ ).

Les particules bêta qui pénètrent une substance entraînent des modifications physiques ou chimiques. Par exemple, le verre s'assombrit après exposition au rayonnement bêta. La plupart des particules bêta ne possèdent pas suffisamment d'énergie pour pénétrer la peau, mais une partie de la peau soumise à un bombardement constant de telles particules pourrait finir par subir des lésions. Un exemple courant de désintégration bêta est la transformation du carbone 14 en azote 14 après émission d'une particule bêta. Comme il y a modification du noyau, il y a transmutation.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les atomes instables peuvent contenir un nombre excessif de particules subatomiques. Cependant, il ne s'agit parfois que d'un excès d'énergie plutôt que d'un nombre excessif de particules. C'est précisément le cas lorsqu'il y a émission de rayons gamma. Un **rayon gamma** est un photon de haute énergie d'une longueur d'onde inférieure à 0,1 nm. De manière générale, les rayons gamma sont émis par le noyau alors que les rayons X sont émis par le nuage d'électrons d'un atome.

Les rayons gamma sont souvent produits parallèlement à l'émission de particules alpha ou bêta, surtout si la substance émettrice est à l'état excité. Ce sont des ondes électromagnétiques de haute énergie, et c'est pourquoi ils causent de graves dommages aux cellules vivantes avec lesquelles ils entrent en contact.

L'émission d'un rayon gamma fait passer le noyau d'un état énergétique élevé à un état énergétique moindre. Tout comme les électrons de l'atome, le noyau possède différents niveaux énergétiques. Les électrons qui se trouvent à un niveau (ou état) énergétique élevé émettent généralement quelques électron-volts (eV) d'énergie sous forme de lumière visible ou ultraviolette. Pour revenir à un niveau énergétique moindre et plus stable, un noyau parvenu à un état énergétique élevé émet une quantité d'énergie de l'ordre de quelques centaines de kiloélectron-volts (keV). La composition chimique de l'atome qui émet un rayon gamma ne change pas. La composition chimique de l'atome change s'il émet soit une particule alpha ou une particule bêta. (Nota : un **électron-volt** correspond à l'énergie acquise par un électron lorsqu'il est accéléré par une différence de potentiel de un volt.)



Figure 1-15

## Enquête : mammographie et solutions de rechange

De tout temps, les clichés mammaires se sont révélés peu fiables pour déterminer si une masse est ou non cancéreuse. Que pourrait suggérer à une patiente qui vient tout juste de recevoir des résultats de mammographie positifs un médecin qui souhaite lui fournir un diagnostic précis?

*Que signifie un résultat de mammographie positif? (Un cancer? Un dépôt de calcium? Une tumeur bénigne? (Que signifie le terme bénin?) Quelque chose d'autre? Toutes ces réponses?)*

*Quels autres types d'épreuves diagnostiques pourraient être utilisés pour confirmer ou infirmer les résultats d'examen positifs?*

*Trouve et compare les taux de cancer du sein chez les hommes et les femmes d'âge similaire. Sont-ils identiques ou différents? Qu'as-tu trouvé?*

La Société canadienne du cancer a adopté un ensemble de positions par rapport au dépistage du cancer du sein par la mammographie. Il importe que tu prennes connaissance de ces positions et que tu en discutes avec les membres de ta famille qui font partie des groupes les plus à risque de développer un cancer du sein.

## Avantages et risques du dépistage

Pratiquement tout test ou intervention comporte à la fois des avantages et des risques. L'important est d'en être informé afin de prendre une décision éclairée – celle qui te convient le mieux.

Aucun test de dépistage n'est absolument infaillible, mais un bon test de dépistage permet de réduire le taux de mortalité chez les personnes atteintes du cancer.

Les chercheurs essaient également de développer d'autres aspects positifs du dépistage, notamment une meilleure qualité de vie et l'utilisation de traitements moins toxiques en raison de la détection précoce de la maladie.

## Avantages du dépistage périodique

- **Détection précoce du cancer** : Dans la plupart des cas, plus un cancer est détecté tôt, meilleures sont les chances de survie. La détection précoce peut aussi être synonyme d'un moins grand nombre de traitements et d'une période de rétablissement plus courte.
- **Réduction de l'anxiété attribuable au fait « de ne pas savoir »** : Bien des gens préfèrent subir régulièrement des tests de dépistage, un peu comme un examen annuel chez leur médecin de famille.

## Risques du dépistage périodique

- **Faux résultats positifs** : Cela se produit lorsque les résultats d'un test semblent indiquer la présence d'un cancer, alors qu'il n'y a pas de cancer. Les faux résultats positifs peuvent être sources d'anxiété et de stress et conduire parfois à d'autres tests douloureux et inutiles pour infirmer les résultats initiaux (c'est-à-dire pour s'assurer que la personne n'a pas de cancer malgré ce que pouvait suggérer le test de dépistage).
- **Faux résultats négatifs** : Cela se produit lorsque le test ne permet pas de dépister le cancer même si celui-ci est présent. Les faux résultats négatifs amènent parfois le patient comme le médecin à ignorer d'autres symptômes qui indiquent la présence d'un cancer, ce qui retarde le diagnostic et le traitement.
- **Diagnostic excessif** : Certains cancers n'entraînent pas nécessairement le décès ou la diminution de la qualité de vie du patient. Par exemple, certains cancers de la prostate ne deviennent jamais cliniquement apparents, ce qui signifie qu'ils ne causent aucun symptôme ni n'influent sur l'espérance de vie ou la qualité de vie du patient. Les hommes atteints de ce type de tumeurs peuvent ne jamais présenter de symptômes et ne jamais nécessiter de traitement.
- **Exposition accrue à des examens dangereux** : Par exemple, à de très faibles doses de radiation dues aux examens radiologiques.

## Qu'est-ce qu'un bon test de dépistage?

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande de vérifier un certain nombre d'éléments avant d'utiliser un test comme outil de dépistage auprès de l'ensemble de la population, dont ceux-ci :

- **Acuité** : Avec quelle efficacité le test détecte-t-il le cancer chez les personnes qui en sont effectivement atteintes?
- **Spécificité** : Dans quelle mesure le test fournit-il un résultat négatif (normal) chez des personnes qui n'ont pas le cancer?
- **Acceptabilité** : La population qui bénéficiera le plus de ce test (la « population cible ») accepte-t-elle le dépistage par cette méthode?

## Tests susceptibles de servir au diagnostic et au dépistage

Certains tests utilisés pour le dépistage peuvent aussi servir pour confirmer ou écarter un diagnostic de cancer chez des patients ayant signalé des symptômes à leur médecin. Par exemple, la mammographie peut servir aussi bien au dépistage qu'à des fins diagnostiques :

- pour détecter le cancer du sein chez des femmes qui ne présentent aucun signe de la maladie;
- pour faciliter le diagnostic du cancer du sein chez des femmes qui présentent des signes de la maladie (ou pour écarter un tel diagnostic chez des femmes qui présentent des symptômes apparentés à ceux du cancer du sein).

Le médecin pourra expliquer au patient en quoi consiste le test qu'il lui fait passer et pourquoi il lui recommande de le passer.



Tu trouveras davantage d'information à ce sujet sur le site Web de la Société canadienne du cancer à [www.cancer.ca](http://www.cancer.ca)





### Savais-tu que...

Figure 1-16

#### **Pour en finir avec le mythe des rayons N!**

Au printemps 1903, le chercheur français René Blondlot publiait un document expliquant la prétendue découverte d'un nouveau type de rayonnement appelé rayons N (N pour Nancy, sa ville natale en France). Cela suscita l'enthousiasme du milieu scientifique, car la découverte suivait de près les découvertes entourant les rayons X de 1895. De nombreux scientifiques publièrent des mémoires de recherche sur les rayons N dans les journaux scientifiques les plus prestigieux de France, et tous affirmaient avoir confirmé expérimentalement l'existence de ces nouveaux rayons.

Cependant, tous les physiciens n'étaient pas convaincus de l'existence des rayons N. L'un d'entre eux était Robert Wood (figure 1-16) de l'Université Johns Hopkins de Baltimore, au Maryland. A l'été 1904, il se rendit en France pour y rencontrer Blondlot et examiner les appareils qui avaient servi à confirmer l'existence des rayons N.

Blondlot choisit alors de présenter à Wood sa démonstration la mieux connue qui consistait à décomposer les rayons N au moyen d'un prisme. L'observateur était censé pouvoir détecter le spectre ainsi produit en observant de faibles augmentations d'intensité lumineuse en divers points d'une bande métallique phosphorescente. Bien que de nombreux expérimentateurs aient affirmé les avoir observés, d'autres (dont Wood) n'ont jamais pu constater l'existence de tels points. Pendant que Blondlot préparait son appareil pour faire la démonstration du spectre, Wood retira à son insu le prisme et attendit la fin de l'expérience. De nouveau, Blondlot affirma l'existence du spectre, qui ne pouvait se produire qu'en présence du prisme, alors absent. Il soutint que Wood n'avait pas une vue suffisamment bonne pour pouvoir observer les résultats. Au terme des démonstrations qui suivirent, Wood fut convaincu que les expérimentateurs imaginaient le « spectre ». Sans le prisme, il était impossible de produire le spectre. Quoi qu'il en soit, les expérimentateurs affirmèrent l'avoir vu. Wood conclut à l'inexistence des rayons N.

À la fin, de nombreux chercheurs ont rétracté à contrecœur et discrètement les résultats qu'ils avaient publiés occasionnant ce qui est devenue une erreur plutôt spectaculaire dans l'histoire de la physique moderne. Est-ce une illustration classique du fait que l'on puisse voir une chose parce que l'on y croit? En science, on dit souvent que « les affirmations extraordinaires exigent d'être soutenues par les preuves les plus extraordinaires ». Il se peut que l'affaire des rayons N n'ait été qu'une occasion de plus de nous rappeler cette précieuse leçon. Ce que nous te proposons de faire maintenant est de trouver autant d'information que possible sur un exemple très récent de controverse en science nucléaire – soit le prétendu phénomène de « fusion froide ». Tu trouveras de l'information en ligne aux sites suivants :

**Fusion froide :** [www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3618](http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3618);

**Fusion froide : le retour?** [www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/fusion-froide-le-retour\\_15671/](http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/fusion-froide-le-retour_15671/);

**La fusion froide contre-attaque :** [www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/la-fusion-froide-contre-attaque-20-apres\\_18718/](http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/la-fusion-froide-contre-attaque-20-apres_18718/);

**Fusion froide – anniversaire d'un dérapage :** [www.sciencepresse.qc.ca/node/23160](http://www.sciencepresse.qc.ca/node/23160).

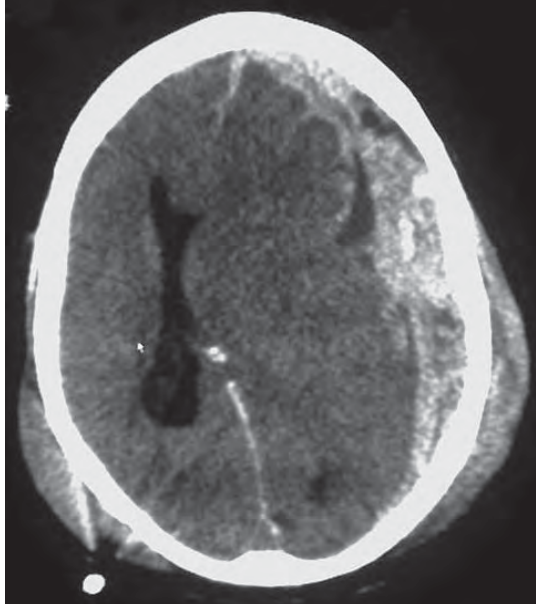
Pour de plus amples renseignements sur Wood, Blondlot et les rayons N, n'hésite pas à consulter les sites Web suivants :

**Rayon N :** [http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon\\_N](http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon_N);

**Les rayons N de René Blondlot :** <http://m.marianne2.fr/index.php?action=article&numero=117364>.



**Figure 1-17** Comme la machine à rayons X, le tomодensitomètre est équipé d'une table pour le patient. La table glisse dans l'anneau circulaire dont une section abrite la source de rayons X qui rayonnent vers l'extérieur en éventail. L'autre section de l'anneau renferme un détecteur en forme de banane. L'anneau peut tourner autour du patient. Une rotation complète produit une coupe transversale, ou « profil ».



**Figure 1-18** Voici un exemple de coupe transversale du cerveau produite par un tomодensitomètre. Tu remarqueras que l'image n'est pas en couleur. Les techniciens examinent les images pour y déceler des anomalies osseuses, des signes de rétention hydrique, des tumeurs, des hémorragies, des lésions ou des fractures du crâne, etc. Dans cette image, la zone la plus foncée visible à gauche indique une lésion sousdurale, ou caillot sanguin.

## Tomодensitométrie (TDM)

La tomодensitométrie (TDM) utilise les rayons X pour produire des images de définition supérieure à celles produites uniquement au moyen d'une machine à rayons X.

La **tomographie** est une technique permettant d'obtenir une « coupe » bidimensionnelle, ou transversale, d'un objet tridimensionnel, par exemple lorsqu'un patient subit une épreuve radiologique visant à détecter une anomalie.

La tomодensitométrie permet d'obtenir des tomographies (du grec « *tomos* » qui signifie « section » et « *graphos* » qui signifie « image ») ou sections transversales multiples d'un patient qui, combinées par ordinateur, produisent une image tridimensionnelle de la région à examiner, ce que ne permettent pas de faire les machines à rayons X ordinaires. Ce type de technologie a une valeur inestimable lorsqu'il s'agit de déterminer la présence d'un cancer, car les images permettent de mesurer la croissance des tumeurs. Elles montrent aussi clairement les tissus mous (et les lésions possibles), voire même les plus petits os ou fragments d'os brisés à la suite d'un accident. La tomодensitométrie peut aussi servir à déterminer la densité minérale osseuse.

On demande parfois aux patients de ne rien manger ou boire douze heures avant une tomодensitométrie pour permettre aux techniciens de leur administrer un produit de contraste qui, à son tour, permet de mieux diagnostiquer certaines affections ou maladies. Par exemple, on utilise parfois le sulfate de baryum pour opacifier des parties du tractus gastro intestinal (pour les rendre plus denses pour les rayons X) au cours d'une tomодensitométrie.

### SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS

Le médecin de Francine a prescrit une tomодensitométrie pour confirmer le diagnostic initial de fracture de vertèbres cervicales. La radiographie montrait la fracture de deux vertèbres. La tomодensitométrie a confirmé leur présence mais a aussi pu montrer s'il y avait des fragments osseux et l'endroit où ils se trouvaient. Le médecin a alors pu déterminer s'il fallait les retirer ou s'il pouvait les laisser sans que cela ne présente un danger pour Francine.

### Rayons X et tomодensitométrie : les LIENS

L'une des principales différences entre les machines à rayons X et les tomодensitomètres est que ces derniers sont très sensibles pour la détection des anomalies des tissus mous. Ils permettent de produire des images des organes internes, ce qui n'est pas le cas des machines à rayons X.

**LISTER** — Dresse la liste, en abrégé, de ce que tu sais ou te souviens au sujet des rayons X et de la tomодensitométrie. Si tu te souviens d'un terme mais pas de la définition, note-le aussi.

**INTERROGER** — Échange ta liste avec celles de trois de tes camarades de classe. Interrogez-vous mutuellement sur les liens que vous avez établis dans vos notes entre les rayons X et la tomодensitométrie et sur la raison de tels liens.

**NOTER** — Rangez les listes et procédez à un bref jeu-questionnaire pour voir ce dont vous vous souvenez de votre discussion et des liens établis.

**SAVOIR** — Comparez vos réponses au contenu de vos notes. Qu'avez-vous encore besoin de savoir ou d'apprendre?

## Le lien avec le cancer

### *Les rayons X, la tomodensitométrie et les examens TEP augmentent-ils les risques de cancer?*

Avec le temps, et même à faibles doses, l'exposition aux rayons X et aux rayons gamma augmente les risques de cancer. C'est là la conclusion d'une vaste étude d'une durée de cinq ans réalisée par un comité du National Research Council (NRC). Il faut garder présent à l'esprit qu'il est ici question d'un risque statistique fondé sur l'observation des populations qui développent le cancer et de celles qui ne semblent pas le développer.

« Il ne semble pas exister de seuil sous lequel l'exposition peut être considérée comme sans danger », explique M. Herbert L. Abrams, de l'Université Stanford, professeur émérite de radiologie aux universités Stanford et Harvard et membre en résidence du Centre for International Security and Cooperation (CISAC) au Freeman Spogli Institute for International Studies.

Cependant, si l'on posait la même question à M. David Boreham de l'University McMaster en Ontario, il répondrait que ses résultats d'expériences l'amènent à penser autrement.

« Beaucoup de personnes soutiennent que le fait de subir une seule tomodensitométrie par année pendant cinq années de suite augmente de quatre à cinq pour cent vos risques de développer un cancer. Un tel argument se fonde sur l'extrapolation des résultats d'études sur l'exposition aux rayonnements menées auprès des survivants des attaques atomiques de la Seconde Guerre mondiale, alors qu'il s'agissait dans ces cas d'une dose unique et massive. » En se fondant sur les résultats de ses travaux qui portent sur des patients soumis à des expositions aux rayons X et à d'autres épreuves diagnostiques par rayonnement, Boreham soutient qu'une faible dose de rayonnement pourrait n'avoir aucun effet cumulatif. De fait, il croit que les cellules peuvent même s'adapter à de faibles niveaux d'exposition aux rayonnements. Il s'agit là d'un débat scientifique passionnant que nous t'encourageons à suivre.

Sources : Stanford University, « *Even Low Exposure To X-rays, Gamma Rays Increases Cancer Risk, Study Finds* », *ScienceDaily*, 27 octobre 2005. Le 29 juillet 2008. [www.sciencedaily.com/releases/2005/10/051027090539.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2005/10/051027090539.htm)

McMaster University, « *L'étrange logique arithmétique de l'exposition au rayonnement* », *Fonds ontarien pour l'innovation, s.d.*, 29 juillet 2008. [www.oit.on.ca/FrPages/FrSStories41-60/FrStoryMcMasterRadiation.html](http://www.oit.on.ca/FrPages/FrSStories41-60/FrStoryMcMasterRadiation.html)



Figure 1-19

### SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : les prochaines étapes de Francine

Francine comprend maintenant beaucoup mieux les différences entre les rayons X et la tomodensitométrie. Elle sait que les tomodensitogrammes ont fourni à son médecin davantage d'information que le cliché radiologique du fait de leur meilleure définition des tissus mous. Elle comprend l'importance de recourir à plus d'une méthode diagnostique, car chacune d'elles fournit à son médecin des données différentes.

Son médecin pourrait-il arriver à un diagnostic sans recourir à des outils technologiques utilisant le rayonnement? Cela est peu probable avec ce type de blessure qui comporte des difficultés cachées. Elle commence à comprendre que le recours aux outils technologiques utilisant le rayonnement est parfois le seul choix possible. Comme c'est toujours le cas lorsqu'il s'agit de l'exposition aux rayonnements, il faut peser le pour et le contre en examinant les avantages et les facteurs de risque connus. Dans le cas présent, Francine et son médecin examinent à la fois la nature de la blessure et les conséquences d'une exposition de faible intensité à des sources de rayonnement ionisant.

Maintenant qu'ils savent que deux vertèbres ont subi des lésions, quelles seraient les prochaines étapes à franchir pour Francine? Son médecin l'a informée qu'elle devra subir au moins une autre épreuve diagnostique pour confirmer s'il y a eu ou non lésion des tissus mous entourant la moelle épinière. Mais il avait aussi autre chose à lui annoncer...

## Tomographie par émission de positrons (TEP)

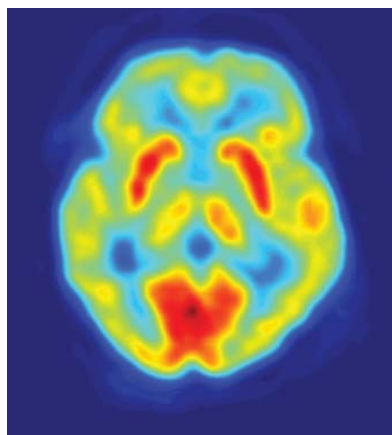
La tomographie par émission de positrons (TEP) exige généralement l'injection d'un indicateur radioactif pour diagnostiquer les différences d'activité biologique de l'organisme. De ce fait, la source de rayonnement est interne plutôt qu'externe (comme c'est le cas pour les appareils à rayon X et les tomodensitomètres). L'indicateur radioactif s'accumule dans la partie du corps à examiner. Les **rayons gamma** produits par la désintégration radioactive constante de l'indicateur sont détectés par le tomographe. Un ordinateur convertit les données associées au rayonnement en images détaillées des organes et des tissus. Ces images des structures des organes et des tissus ne sont pas aussi claires que celles produites par le tomodensitomètre mais elles indiquent plutôt le niveau d'activité biologique de l'organisme. Les zones de couleur violette (de plus grande activité chimique), appelées zones chaudes, sont celles où de grandes quantités d'indicateur radioactif se sont accumulées. Les zones plus pâles (en bleu), ou zones froides, sont le signe d'une concentration moindre d'indicateur radioactif et donc d'une activité biologique moindre.

Le radiopharmaceutique (ou indicateur radioactif) le plus souvent utilisé pour les examens TEP est le fluor-18 ( $^{18}\text{F}$ ). D'autres indicateurs radioactifs utilisés sont l'oxygène-15 ( $^{15}\text{O}$ ), l'azote-13 ( $^{13}\text{N}$ ) et le carbone-11 ( $^{11}\text{C}$ ), cependant l'utilisation de ces isotopes est généralement limitée aux activités de recherche. Tous ces isotopes émettent des positrons. Un **positron** a la même masse qu'un électron, mais une charge opposée.

Les examens TEP mesurent les fonctions organiques comme le débit sanguin, la consommation d'oxygène et le taux métabolique. Les médecins s'en servent pour évaluer le fonctionnement d'un organe ou d'un tissu. Souvent, les techniciens médicaux sont capables de superposer les tomodensitogrammes et les tomographies provenant d'un même appareil de diagnostic, ce qui permet de corréler l'information et les images provenant de plusieurs sources et d'obtenir de l'information et un diagnostic plus précis. La plupart des tomographes par émission de positrons modernes intègrent un tomodensitomètre.



**Figure 1-20** Le tomographe par émission de positrons sert généralement à détecter les cancers. L'appareil mesure les variations de quantité d'indicateur radioactif dans le corps du patient et produit des images à partir des données qui en découlent.



**Figure 1-21** Les images du tomographe par émission de positrons peuvent être en noir et blanc ou en couleur. Les zones sombres (des images en noir et blanc) et les « zones chaudes » (zones rouges et orange des images en couleur) indiquent une accumulation de l'indicateur radioactif administré au patient. Les indicateurs sont parfois mélangés à des substances comme l'eau sucrée, ainsi les tissus et les organes qui utilisent l'énergie du glucose présentent des signes de désintégration radioactive. Comme les tissus cancéreux utilisent davantage de glucose que les tissus normaux, les techniciens analysent attentivement les zones sombres et les zones chaudes.

## Choix de carrière

### *Technologue en médecine nucléaire*

Il ne faut que deux années d'études postsecondaires pour devenir technologue en médecine nucléaire. Dans ce secteur en pleine expansion, les technologues utilisent des radiopharmaceutiques et des instruments spécialisés pour faciliter le diagnostic et le traitement des blessures et des maladies. Depuis 2009, des programmes de stage sont offerts à Calgary, à Edmonton, à Red Deer, à Regina, à Saskatoon et à Winnipeg. Les diplômés peuvent trouver un emploi dans les hôpitaux, les laboratoires privés, les cliniques communautaires et les établissements de recherche ou d'enseignement.

Site Web liens carrière – Association canadienne des technologues en radiation médicale :

[http://www.camrt.ca/AMUZ/bchXda!`\\_f.asp](http://www.camrt.ca/AMUZ/bchXda!`_f.asp)

Figure 1-22

## Révision du chapitre 1 : concepts et termes

**Concepts :** Les machines à rayons X comme les tomodensitomètres utilisent le rayonnement pour produire des images aux fins d'analyse diagnostique. Les techniciens qui utilisent ces appareils se servent parfois de produits de contraste (non radioactifs) pour obtenir des images mieux contrastées permettant une meilleure analyse. L'arthrographie et la mammographie sont des formes spécialisées de diagnostic radiologique.

La tomographie par émission de positrons utilise des radiopharmaceutiques (indicateurs radioactifs) pour créer des images tomographiques (coupes transversales du corps) à des fins d'analyse diagnostique. Les tomographes modernes sont équipés d'un tomodensitomètre intégré.

Il existe de nombreuses formes de rayonnement naturel — le présent chapitre portait essentiellement sur les rayonnements alpha, bêta et gamma.

### Termes

particule alpha	radioprotection
arthrographie	isotope
atténuation	mammographie
particule bêta	examen TEP (tomographie par émission de positrons)
tomodensitométrie	positron
rayonnement électromagnétique	radiographie
spectre électromagnétique	radiopharmaceutique
onde électromagnétique	tomographie
électron-volt (eV)	rayon X
fréquence	rayonnement ultraviolet
rayon gamma	

# chapitre 2

## Autres technologies de diagnostic

### SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : Francine a des questions au sujet du rayonnement

Francine savait que la demande de radiographie initiale du médecin visait à obtenir un diagnostic rapide. Le médecin a exigé une tomodensitométrie pour pouvoir localiser les fragments d'os de la blessure révélée par le cliché radiologique initial. Ensuite, un neurologue a rendu visite à Francine et a exigé un examen IRM dont les résultats ont confirmé la présence de fractures sur de petites sections des deuxième et troisième vertèbres cervicales et le fait que les petits fragments d'os tranchants étaient dangereusement près de la moelle épinière. Bien qu'elle n'ait pas encore subi d'examen TEP ou d'ultrason, Francine ne pouvait s'empêcher de s'interroger à propos des effets sur son organisme qu'aurait à long terme le recours à de tels moyens technologiques. Pourquoi avait-elle besoin de subir un examen IRM alors qu'elle avait déjà passé une radiographie et une tomodensitométrie? Aurait-elle besoin d'un examen TEP ou d'un ultrason? L'examen IRM allait-il l'exposer de nouveau à une source de rayonnement?



Figure 2-1

### Imagerie par résonance magnétique (IRM)

L'imagerie par résonance magnétique (IRM), aussi appelée résonance magnétique (RM), n'utilise pas le rayonnement pour la production d'images. Les appareils d'IRM utilisent plutôt de puissants **champs magnétiques** pour aligner les atomes d'hydrogène de l'organisme. Des bobines de radiofréquence produisent des champs magnétiques de haute fréquence qui excitent les protons du noyau des atomes d'hydrogène. Les protons émettent l'énergie ainsi acquise en quantité détectable en créant leurs propres champs magnétiques. Un ordinateur analyse les signaux de ces champs magnétiques pour produire des images détaillées des organes, d'autres tissus mous, des os et de presque toutes les autres structures internes du corps avec une précision stupéfiante. Ce type d'images offre même des contrastes supérieurs à ceux des tomodensitogrammes. Comme c'est le cas avec le tomodensitomètre, il est possible d'obtenir de multiples images assemblées par ordinateur pour produire une image tridimensionnelle de la partie du corps à examiner.

Le produit de contraste généralement utilisé pour les examens IRM est le **gadolinium**, un élément ferromagnétique idéal pour les épreuves diagnostiques qui reposent sur les interactions des champs magnétiques. Les diagnostiqueurs doivent veiller à retirer tous les objets métalliques du lieu de où se déroule l'examen, car leur champ magnétique risquerait d'influer sur la formation de l'image.

Les examens IRM peuvent tout aussi bien servir au diagnostic qu'au suivi du patient. En règle générale, il est plus facile de distinguer un tissu normal d'un tissu anormal sur une image obtenue par résonance magnétique que sur celles obtenues par tomodensitométrie, par radiographie ou au moyen des ultrasons. Cela dépend toutefois grandement du type d'étude réalisé.

**Figure 2-2** Cette image d'une coupe transversale du cerveau humain a été produite par résonance magnétique. Qu'il s'agisse d'images couleur ou en noir et blanc, les techniciens examinent les contrastes. Ce qu'ils recherchent dépend fortement des paramètres et des séquences des images. Ils recherchent les « zones chaudes » (sur les images dites en « fausses couleurs », les zones chaudes ont parfois pour code de couleur le jaune) qui peuvent indiquer la présence d'une tumeur. Les zones froides (parfois représentées par une palette de couleurs plus froides comme les teintes de bleu et de violet) peuvent indiquer la présence de tissus normaux ou de liquides organiques.

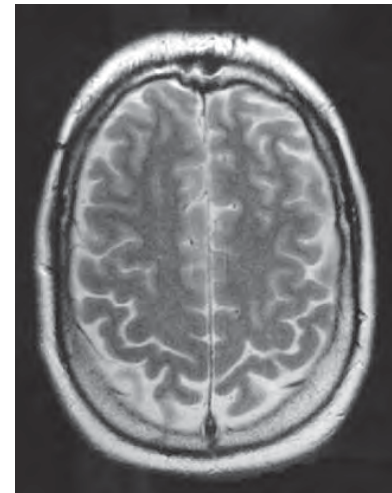


Figure 2-2



**Figure 2-3** L'appareil d'IRM illustré sur la photo de gauche ressemble au tomodesitométrique en raison de l'anneau circulaire et de la table destinée à recevoir le patient. Ici toutefois, la seule pièce mobile est précisément cette table. Le technicien prend de nombreuses images ou coupes transversales, et les multiples images peuvent être assemblées pour produire une image tridimensionnelle.

### Enquête et approfondissement :

1. Pourquoi le gadolinium est-il utilisé comme produit de contraste pour les examens IRM? Pourquoi ne pas utiliser le baryum ou le cobalt?
2. Avec un camarade de classe, dresse la liste des caractéristiques générales d'un isotope qui constituerait un « bon » choix pour la réalisation d'épreuves diagnostiques.
3. Pourrait-on utiliser le gadolinium pour les examens TEP? Justifie ta réponse.

### SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS

Francine comprend maintenant que l'examen IRM n'implique aucune exposition aux rayonnements. Bien que ce ne fut pas le cas pour l'examen radiologique et la tomodesitométrie, son médecin l'a assurée que l'exposition totale était tellement négligeable qu'elle n'aurait pas d'incidence sur sa santé générale. En fait, son exposition totale est de beaucoup inférieure à celle que subit un voyageur d'affaires qui voyage périodiquement en haute altitude en avion à réaction. À ce propos, et juste pour mettre les choses en contexte, signalons que, selon la Health Physics Society, nous sommes chaque année exposés à un rayonnement naturel d'environ 3 600 microsieverts. Une radiographie du thorax produit environ 170 microsieverts, et une radiographie dentaire, environ 7 microsieverts. Si tu voyageais souvent en avion (disons, si tu parcourais plus de 120 000 km par année), tu serais alors exposé à la dose maximale recommandée de rayonnements. Pour en savoir plus à ce sujet, consulte la foire aux questions à [http://www.ccbst.ca/oshanswers/phys\\_agents/](http://www.ccbst.ca/oshanswers/phys_agents/) ou <http://hps.org/publicinformation/atetfaqs/> (site anglais).



**Figure 2-4**

### Vérifie tes connaissances

*Les champs magnétiques générés par les lignes de transport d'électricité peuvent-ils causer le cancer?*

**Origine de la croyance :** Différents chercheurs étudient le lien entre les taux de certains types de cancer infantiles et la proximité du lieu de résidence des enfants par rapport aux lignes de transport d'électricité à haute tension. On a vu circuler au fil des ans divers courriels dont les auteurs affirment qu'il existe un lien direct entre le fait de vivre à proximité de lignes de transport et les risques de cancer.

**Les faits :** Selon Santé Canada, les recherches montrent que les champs électromagnétiques produits par les appareils électriques et les lignes de transport d'électricité ne sont associés à aucun risque connu pour la santé.

De nombreuses études ont été réalisées sur les effets de l'exposition aux champs électromagnétiques de fréquences extrêmement basses. Bien que des études semblent indiquer l'existence d'un lien possible entre l'exposition aux champs électromagnétiques et certains types de cancer infantile, les scientifiques de Santé Canada estiment que les preuves semblent très faibles.

Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) classe les champs électromagnétiques comme « peut-être cancérigènes pour l'homme » d'après des études sur le cancer infantile. Toutefois, selon les scientifiques de Santé Canada, il n'existe pas suffisamment de preuves pour conclure avec certitude que les champs électromagnétiques causent le cancer chez les enfants. Ils croient que d'autres études sont nécessaires pour être en mesure de tirer des conclusions solides.

Source : Ministère de la Santé, « Votre santé et vous – Champs électriques et magnétiques de fréquences extrêmement basses », Santé Canada, avril 2004. Le 29 juillet 2008 [www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-usu/environ/magnet-fra.php](http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-usu/environ/magnet-fra.php)



**Figure 2-5** Bien que l'imagerie ultrasonore soit mieux connue pour son utilisation dans le cadre des soins prénatals, elle est aussi un outil de diagnostic efficace pour les affections liées au sang ou aux liquides organiques. Associée à une technique très spécialisée utilisant un dispositif dédié, l'imagerie ultrasonore peut aussi servir à diagnostiquer l'ostéoporose. Elle ne comporte pas les effets secondaires potentiellement nocifs de l'exposition aux rayonnements comme c'est le cas pour la radiographie, la tomodensitométrie et l'examen TEP.



**Figure 2-6** La meilleure analyse de l'image ultrasonore s'effectue en temps réel sur le moniteur. Le technicien examine les images en temps réel pour déterminer si le rythme cardiaque est normal, pour analyser la régularité du débit sanguin ou pour déceler toute anomalie des liquides organiques et des tissus. Dans certains cas particuliers, on utilise des images fixes produites par ultrason pour analyser des anomalies de la densité osseuse ou du débit sanguin.

## Ultrason

Comme son nom l'indique, l'imagerie ultrasonore utilise des ondes ultrasonores pour le diagnostic de différentes affections. Un **transducteur** convertit une impulsion électrique en vibration mécanique – soit en onde sonore à haute fréquence. Cette onde sonore se répercute sur les différentes structures du corps. Le transducteur enregistre les ondes sonores réfléchies et les reconvertit en impulsions électriques. Un ordinateur transforme ces impulsions en images reproduites sur un moniteur.

Certains types de tissus ou de liquides organiques non décelables sur les radiographies peuvent être détectés grâce à l'imagerie ultrasonore, dont l'un des principaux avantages est de permettre la production d'images en temps réel d'organes et de tissus en activité.

L'**effet Doppler** et l'imagerie ultrasonore peuvent servir à mesurer le débit sanguin. L'effet Doppler enregistre le changement de **fréquence** à laquelle l'onde émise par une source donnée parvient à l'observateur lorsque la source est en mouvement par rapport à ce dernier. Pareille habileté à déterminer le mouvement peut aider à diagnostiquer le rétrécissement des vaisseaux sanguins et l'occlusion des artères et à analyser le rythme cardiaque fœtal. Elle peut aussi servir à déterminer si une masse corporelle est remplie de liquide (comme un kyste) ou s'il s'agit d'une tumeur, plus dense.

### Le lien avec le cancer

*Le gène suppresseur de tumeur du Dr Sorenson*

Les gènes suppresseurs de tumeurs sont des gènes ordinaires qui ont pour fonction de ralentir la division cellulaire, de réparer les erreurs de l'ADN et de dire aux cellules quand mourir. Lorsque ces gènes ne font pas leur travail, la croissance cellulaire peut devenir chaotique et aboutir à un cancer. À ce jour, quelque 30 gènes différents de ce type ont déjà été découverts.

Les chercheurs de l'Université de la Colombie-Britannique, sous la direction du Dr Poul Sorenson (figure 2-7), ont découvert un nouveau gène suppresseur de tumeur qui agit sur le type le plus courant de tumeur rénale infantile. Leurs études ont montré qu'un taux moindre de ce gène, appelé HACE 1, peut favoriser l'apparition de tumeurs. De plus, le rétablissement de son taux normal chez les patients atteints du cancer a inhibé la formation de tumeurs.

Cette étude en cours aidera les scientifiques à comprendre comment la perte de ce gène conduit à la formation de tumeurs chez les enfants et pourra aboutir à la découverte de nouveaux traitements préventifs.

*Source : Université de la Colombie-Britannique, « Award Recipients – Trainee Profiles – Fan Zhang », Michael Smith Foundation for Health Research, 14 juin 2005. Le 29 juillet 2008.*



*Figure 2-7*



## Lavement baryté et coloscopie

Le diagnostic du cancer et d'autres maladies du côlon est généralement facilité par l'usage d'un isotope du **baryum**. Le **lavement baryté** est un test qui consiste à injecter sous forme liquide du sulfate de baryum dans la partie inférieure de l'intestin du patient. Pendant que celui-ci contracte son sphincter anal, le technicien instille le liquide dans le **côlon**. Une fois l'opération terminée, il insuffle de l'air pour gonfler le côlon. À la radiographie, le test donne un meilleur contraste des tissus mous entourant le tractus gastrointestinal. Il faut prescrire au patient une diète pauvre en résidus et des laxatifs une ou deux journées avant le test pour vidanger entièrement le côlon et éviter que des particules d'aliments partiellement digérés ne nuisent à l'examen radiologique.

Un autre test diagnostique utilisé au lieu du lavement baryté et de l'examen radiographique est la **coloscopie**. Il consiste à introduire par l'anus un long câble souple doté à son extrémité d'une caméra (**endoscope**) dans la partie inférieure de l'intestin du patient et à le faire progresser lentement dans le côlon jusqu'à la jonction avec l'intestin grêle (au niveau du caecum). Le médecin peut fixer les images en temps réel projetées sur un écran de télévision ou un moniteur pour examiner les zones suspectes. Le câble renferme des **fibres optiques** et des outils diagnostiques miniatures servant aussi à effectuer des prélèvements de tissus. Comme pour le lavement baryté, le patient doit suivre une diète pauvre en résidus et prendre des laxatifs deux jours avant le test pour vidanger entièrement le côlon afin de faciliter l'observation.

Jette un coup d'œil à la coloscopie en ligne à : [www.youtube.com/watch?v=nOH9jAcjECg](http://www.youtube.com/watch?v=nOH9jAcjECg)



### Savais-tu que...

#### Production canadienne d'isotopes

La production d'isotopes médicaux est un domaine dans lequel le Canada a fait œuvre de pionnier. Deux hôpitaux de la Saskatchewan et de l'Ontario ont été les premiers à utiliser le cobalt radioactif pour le traitement du cancer au début des années 1950, une technique aujourd'hui largement répandue partout dans le monde. De nos jours, le réacteur national de recherche universel (NRU) de Chalk River (Ontario) est la principale source mondiale tant de cobalt-60, un radioisotope très actif utilisé pour le traitement du cancer, que de technétium 99, utilisé pour l'imagerie diagnostique, ainsi que de nombreux autres isotopes.

L'éventail d'isotopes produits par le réacteur NRU est distribué partout au Canada et dans le monde par MDS Nordion, le plus grand fournisseur mondial d'isotopes médicaux. Périodiquement, en raison d'interruptions non planifiées de la production, les réserves mondiales d'isotopes médicaux en provenance du réacteur de Chalk River sont très limitées, voire nulles. À l'occasion, la demi-vie très courte de certains isotopes radioactifs (p. ex., le fluor-18) pose des problèmes particuliers, car leur durée d'utilisation efficace dans des applications comme les examens TEP n'est que de quelques heures ou de quelques jours. Dans quelle mesure une telle concentration de la production peut-elle constituer un risque pour les programmes de traitement en cours des patients de partout dans le monde. Peux-tu trouver une solution à un tel dilemme?

## activité sur internet

*The Visible Human Project* : [http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible\\_human.html](http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html) (site anglais)

Explore les ressources disponibles sur le site « A Guided Tour of the Visible Human ». Les responsables de ce projet s'efforcent depuis plus d'une décennie de compiler des images de coupes transversales réalisées par tomographie à émission de positons et par IRM sur des cadavres d'hommes et de femmes pour les rendre accessibles en ligne aux étudiants et aux enseignants. The Visible Human Project® s'inscrit dans le projet à long terme de la National Library of Medicine des États Unis de créer « des représentations tridimensionnelles complètes et anatomiquement détaillées du corps normal de l'homme et de la femme. » Tu remarqueras que les clichés de tomographie à émission de positons et IRM présentés sur ce site Web ne montrent pas d'anomalies ou de maladies mais uniquement des images tridimensionnelles de corps humains sains.

[www.dhpc.adelaide.edu.au/projects/vishuman2/VisibleHuman.html](http://www.dhpc.adelaide.edu.au/projects/vishuman2/VisibleHuman.html) (site anglais)

(Java Applet—tu choisis toi même la coupe transversale à visualiser!)

[www.uchsc.edu/sml/chs/browse/browse\\_m.html](http://www.uchsc.edu/sml/chs/browse/browse_m.html) (homme -- cliquable) (site anglais)

[www.uchsc.edu/sml/chs/browse/browse\\_f.html](http://www.uchsc.edu/sml/chs/browse/browse_f.html) (femme -- cliquable) (site anglais)

## Isotopes médicaux

Un **isotope** d'un atome est un autre atome possédant le même **numéro atomique** mais un **nombre de masse** différent. En d'autres mots, les deux atomes ont le même nombre de protons et d'électrons, mais un nombre différent de neutrons dans le noyau, différence qui rend parfois l'isotope instable et lui confère la capacité d'émettre de l'énergie sous forme de photons ou de particules. Ce sont ces isotopes instables et émetteurs de particules qui sont utiles pour les tests médicaux.

Nous avons vu au chapitre précédent que des produits de contraste (non radioactifs) sont parfois utilisés avec certaines technologies de diagnostic. Ils peuvent améliorer la qualité des images en faisant apparaître davantage de détails. Un produit de contraste au baryum peut être utilisé pour la tomodensitométrie. Le présent chapitre décrit l'usage du gadolinium pour la production d'IRM de meilleure qualité.

Certaines formes de technologies de diagnostic sont combinées à l'usage d'un isotope médical, parfois appelé **indicateur radioactif** ou **radiopharmaceutique**. Une telle pratique peut améliorer la qualité des images et permettre au technicien de concentrer son attention sur des détails de certains organes ou tissus, voire de structures osseuses. Nous avons vu au chapitre 1 que quatre isotopes sont utilisés pour les examens TEP (oxygène-15, azote-13, carbone-11 et fluor-18).

Chaque isotope radioactif utilisé pour un test médical est choisi en fonction de sa demi-vie et de la possibilité de l'administrer par injection ou par voie orale. Il est aussi tenu compte des risques d'effets secondaires, l'objectif recherché étant de n'avoir que peu d'effets secondaires, voire aucun. L'utilisation de ces isotopes peut permettre de détecter des maladies ou des tumeurs bien avant que ne le permettraient les seules technologies de diagnostic. On parle ici de plusieurs semaines, voire de plusieurs mois.

Tu trouveras ci-dessous un tableau des différents types de radio-isotopes utilisés pour le diagnostic ou le traitement de maladies.

Isotope	Demi-vie	Usage
Arsenic-74	17,9 jours	Localisation des tumeurs cérébrales
Baryum-131	12,0 jours	Détection des tumeurs osseuses
Carbone-14	5730 jours	Traitement des tumeurs cérébrales
Chrome-51	27,8 jours	Détermination du volume sanguin
Cobalt-60	5,26 années	Traitement des tumeurs cérébrales
Fluor-18	109 minutes	Idéal pour les examens TEP
Or-198	64,8 heures	Mesure de l'activité rénale
Iode-131	8,05 jours	Traitement des problèmes de thyroïde; détection des caillots sanguins
Fer-59	45,6 jours	Mesure du taux de production de globules sanguins
Mercure-197	65,0 heures	Détection des tumeurs cérébrales; test de la fonction splénique
Technétium-99	6,0 heures	Détection des tumeurs cérébrales; détection des caillots sanguins



**Figure 2-9**  
Chercheurs canadiens manipulant l'équipement nécessaire à la production massive de l'isotope cobalt-60.

## Dans les médias

### Le cobalt-60 et la filière canadienne

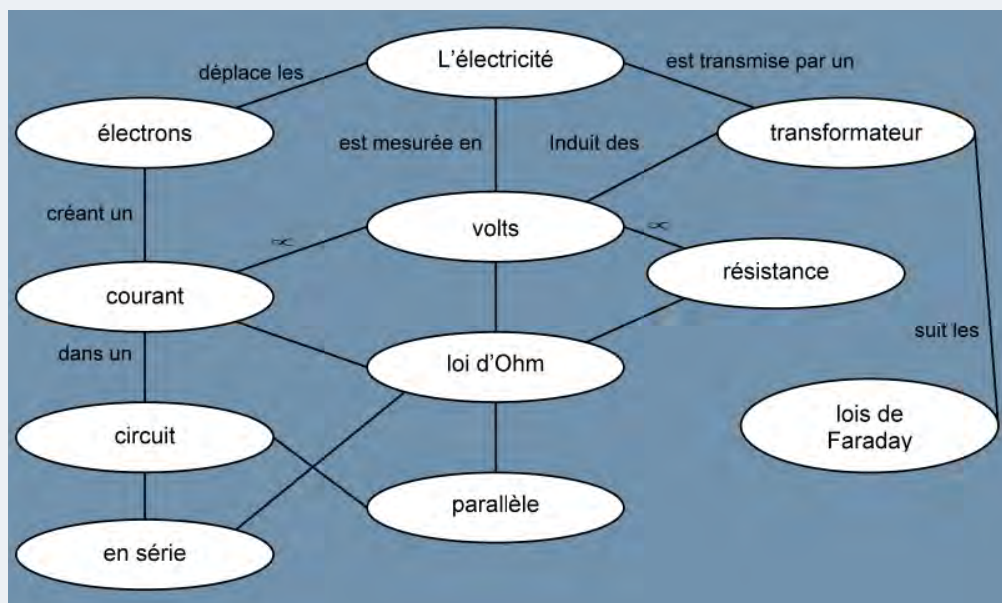
Avant 1947, le radium était considéré comme la meilleure option possible pour le traitement des tumeurs cancéreuses. Les médecins et autres spécialistes ont cependant fini par se rendre compte des limites du radium pour le traitement des tumeurs profondes. C'est toutefois grâce à un groupe de recherche spécifiquement canadien que le cobalt-60 est rapidement devenu l'isotope de choix pour le traitement des patients atteints du cancer. Pour être efficace, le radium devait entrer en contact direct avec les tissus cancéreux – grâce au cobalt-60, les spécialistes ont pu créer des « bombes au cobalt » leur permettant d'attaquer les cellules cancéreuses presque partout dans l'organisme. Vers 1951, des traitements ont été mis à l'essai à Saskatoon. Eldorado Mining and Refining, une société d'État qui possédait et exploitait alors bon nombre des mines d'uranium du Canada, a rapidement réorganisé MDS Nordion, son service de vente de radium, pour lui permettre de répondre à la demande mondiale élevée de cobalt-60, faisant du Canada un leader mondial de la production et de la livraison d'isotopes.

## Comparaison des technologies et techniques de diagnostic

### activité

#### Schéma conceptuel

Il arrive qu'un graphique illustrant les liens entre les différents termes utilisés aboutisse à de meilleurs résultats que le regroupement de ces mêmes termes sous différentes catégories. **Crée un schéma conceptuel sur le thème du RAYONNEMENT** à l'image d'une toile illustrant les liens entre les termes propres aux technologies et techniques de diagnostic.



**Figure 2-10**

Ce simple exemple de schéma conceptuel montre comment s'organise dans la pensée les mots et les concepts en rapport avec l'électricité. Le rapport entre deux concepts (les « bulles ») est indiqué par un mot ou une phrase.

## SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : le diagnostic de Francine

Après avoir discuté des résultats de la tomodensitométrie et de l'examen IRM avec le technicien, le médecin informe Francine de leurs conclusions. L'IRM montre des signes d'abrasion légère de la moelle épinière dus au frottement des fragments d'os. Heureusement, la moelle n'est pas gravement endommagée. La tomodensitométrie indique clairement où se trouvent les fragments, et le médecin est confiant de pouvoir les extraire en procédant à une intervention chirurgicale minutieuse.

L'IRM montre un autre résultat inattendu, soit une tumeur de la glande thyroïde à la base du cou de Francine. On lui explique qu'il existe plusieurs traitements possibles, dont l'ablation chirurgicale. Son médecin lui explique qu'on lui présentera en détail les diverses options possibles et l'assure qu'avec un bon traitement il serait possible d'extraire complètement la tumeur isolée et, fort probablement, sans risque de récurrence.



Figure 2-11

## Choix de carrière

### Spécialiste en radioprotection

Le spécialiste en radioprotection contribue à protéger les personnes des effets nocifs des technologies utilisant le rayonnement ionisant tout en favorisant leur usage bénéfique. Des possibilités de carrière existent dans tous les secteurs et les industries qui utilisent de telles technologies : centrales nucléaires, laboratoires de recherche, hôpitaux et usines de la défense. En général, les spécialistes en radioprotection travaillent aussi comme experts-conseils en environnement auprès du gouvernement et de l'industrie lorsque des tâches comme la décontamination ou déclasserement de réacteurs sont requises.

Site Web liens carrière – Profils de carrières au Manitoba :

<http://mb.jobfutures.org/profiles/profile.cfm?lang=fr~noc=2111~site=graphic>



Figure 2-12

## Révision du chapitre 2 : concepts et termes

**Concepts** : L'imagerie par résonance magnétique (IRM) utilise des champs magnétiques de haute fréquence pour produire des images détaillées des organes, des tissus mous et des os — plus détaillées encore que celles produites par radiographie ou par tomodensitométrie. L'IRM est une technologie de diagnostic qui n'utilise pas le rayonnement pour la production d'images.

Comme son nom l'indique, l'imagerie ultrasonore utilise des ondes ultrasonores pour le diagnostic de différentes affections des fonctions biologiques. Un ordinateur transforme en images sur un moniteur les ondes sonores converties en impulsions électriques.

Nous avons présenté dans ce chapitre deux épreuves diagnostiques différentes servant à l'examen du côlon : le lavement baryté et la coloscopie. Le lavement baryté consiste à injecter du sulfate de baryum (un produit de contraste) dans l'anus du patient pour un cliché radiologique plus détaillé de la région. La coloscopie consiste à introduire par l'anus et à faire progresser dans le côlon un long câble souple doté à son extrémité d'une caméra.

Un isotope d'un atome est un autre atome possédant le même numéro atomique mais un nombre de masse différent. Des isotopes médicaux, parfois appelés indicateurs radioactifs ou radiopharmaceutiques, sont parfois utilisés en combinaison avec des technologies de diagnostic pour améliorer la qualité des images et permettre au technicien de concentrer son attention sur des détails de certains organes ou tissus, voire de structures osseuses.

Termes	
numéro atomique	gadolinium
baryum	gène HACE 1
cobalt-60	isotope
côlon	imagerie par résonance magnétique (IRM)
coloscopie	champ magnétique
effet Doppler	nombre de masse
champ électromagnétique	bobine de radiofréquence
endoscope	radium
lavement	transducteur
fibre optique	ultrason

# chapitre 3

## Effets du rayonnement sur le corps humain

### SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : Francine a d'autres questions

Francine a subi différentes épreuves diagnostiques qui ont confirmé non seulement une blessure au cou avec fracture de deux vertèbres, mais aussi une tumeur de la thyroïde. Francine a demandé au médecin si sa blessure au cou était la cause de la tumeur. Il a répondu que non. L'IRM n'a fait que révéler la présence de quelque chose qui était déjà là avant la blessure. Francine est chanceuse d'avoir subi l'examen IRM à ce moment précis, car la tumeur aurait pu autrement ne pas avoir été découverte à temps pour empêcher la formation de métastases (propagation à d'autres régions du corps).

Le médecin a dit à Francine qu'au terme du traitement elle devra continuer à subir des examens de suivi périodiques de la thyroïde par ultrason (voir la figure 3-1). Bien qu'elle savait qu'elle aurait de nombreuses questions au sujet des types de traitement disponibles et de la technologie utilisée pour les examens de suivi, Francine voulait d'abord avoir plus de détails sur les effets à long terme de la tomodensitométrie et de la radiographie. Si ce n'était pas le cas pour l'IRM, les deux autres épreuves diagnostiques impliquaient elles l'exposition aux rayonnements. Elle se demandait donc à elle-même ce qu'est au juste le rayonnement ionisant.



Figure 3-1

### Rayonnement non ionisant

Tout type de rayonnement électromagnétique dont l'énergie n'est pas suffisante pour ioniser un atome est qualifié de **non ionisant**. Un atome est ionisé lorsqu'il perd ou qu'il acquiert un électron. Le rayonnement ionisant entraîne une modification chimique et cause de ce fait plus de dommage que le rayonnement non ionisant. Quoiqu'il en soit, le rayonnement non ionisant a aussi des effets observables.

La lumière visible, l'infrarouge, les microondes et les ondes radio sont des exemples de rayonnement non ionisant. La lumière solaire qui parvient jusqu'à la terre est en grande partie non ionisante. Malgré tout, des rayons ultraviolets (qui ont un potentiel d'ionisation) atteignent aussi la surface de la Terre.

**L'infrarouge**, ou lumière laser, peut aussi provoquer des brûlures cutanées et blesser les yeux, selon son niveau d'énergie. Il est possible de régler le niveau d'énergie de la lumière laser pour éviter les lésions cutanées ou oculaires. Les pointeurs laser d'usage courant sont conçus pour ne pas causer de lésions cutanées. Les micro-ondes ont une énergie suffisante pour chauffer les surfaces, et c'est pourquoi elles sont utilisées dans les fours à micro-ondes. Certaines sources affirment que les niveaux énergétiques observés à proximité des champs électriques à basse fréquence générés par les lignes de transport d'électricité peuvent entraîner des réactions nerveuses et musculaires désordonnées.

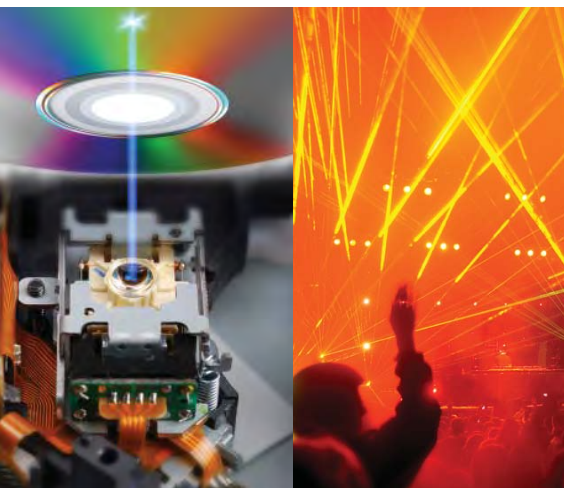


Figure 3-2

### Savais-tu que...

Bon nombre de personnes ont des préoccupations au sujet de la sécurité et de l'utilisation des produits laser disponibles sur le marché. Parmi ces produits figurent les lecteurs DVD, les détecteurs de fumée, les jeux de lumière laser et les pointeurs laser. Selon une croyance bien répandue, la lumière laser serait en fait des ondes sonores amplifiées et constitue une forme de rayonnement ionisant capable de causer des dommages même au niveau des cellules. Il peut résulter de cette fausse croyance une crainte injustifiée des lasers. Il vaut mieux utiliser la lumière laser dans des conditions sûres et contrôlées; ce qui sous-entend qu'il faut d'abord et avant tout en apprendre un peu plus sur les fondements de la physique qui s'appliquent au phénomène laser.



Figure 3-3

## Bon sens sous le soleil

Consulte la rubrique en ligne **Bon sens sous le soleil** de la **Société canadienne du cancer**. Tu y trouveras de l'information utile sur les « mythes » concernant l'exposition au soleil. Pour te procurer une trousse gratuite (pour toi ou pour toute ta classe), va au site <http://www.cancer.ca>, clique sur l'onglet « Publications » puis fais dérouler la liste jusqu'au lien « Bon sens sous le soleil ».

## Le lien avec le cancer

### Rayonnement ultraviolet

Au Canada, la lumière solaire est suffisamment intense pour causer le vieillissement précoce et le cancer de la peau. Toujours plus mince en raison du niveau croissant de pollution chimique et autre, la couche d'ozone nous protège moins bien des rayons ultraviolets dommageables qui nous parviennent en plus grand nombre. Heureusement, la production des chlorofluorocarbures responsables de l'amincissement de la couche d'ozone est bannie depuis 1996, ce qui contribuera à protéger la couche d'ozone.

Il existe trois types de rayonnement ultraviolet :

- Le rayonnement ultraviolet A (UVA) constitue la majeure partie de la lumière naturelle du soleil. Il peut pénétrer profondément dans la peau et favoriser l'apparition de rides et le vieillissement de la peau.
- Le rayonnement ultraviolet B (UVB) est le plus dommageable pour la peau. Il est la principale cause des coups de soleil car il est presque 1 000 fois plus puissant que le rayonnement UVA.
- Le rayonnement ultraviolet C (UVC), ou rayonnement ultraviolet de courtes longueurs d'onde, n'atteint jamais la surface de la terre; il est filtré par l'atmosphère.

Ni la brume sèche, ni le brouillard ni les nuages ne bloquent le rayonnement ultraviolet. L'eau, le sable, le béton et surtout la neige reflètent les rayons ardents du soleil et peuvent même parfois en accroître l'intensité. Il est courant de ne pas se couvrir la tête, le visage, le cou, les mains et les bras, et c'est précisément sur ces régions du corps non couvertes qu'apparaissent la plupart des cancers de la peau. Tes risques de développer un cancer de la peau sont plus élevés si tu as eu plusieurs coups de soleil avec formation d'ampoules dans l'enfance; si tu travailles, si tu joues ou si tu t'entraînes régulièrement au soleil durant de longues périodes; si tu as la peau, les yeux et les cheveux clairs; ou si tu prends des médicaments qui te rendent davantage sensible au rayonnement UV (comme les contraceptifs oraux).

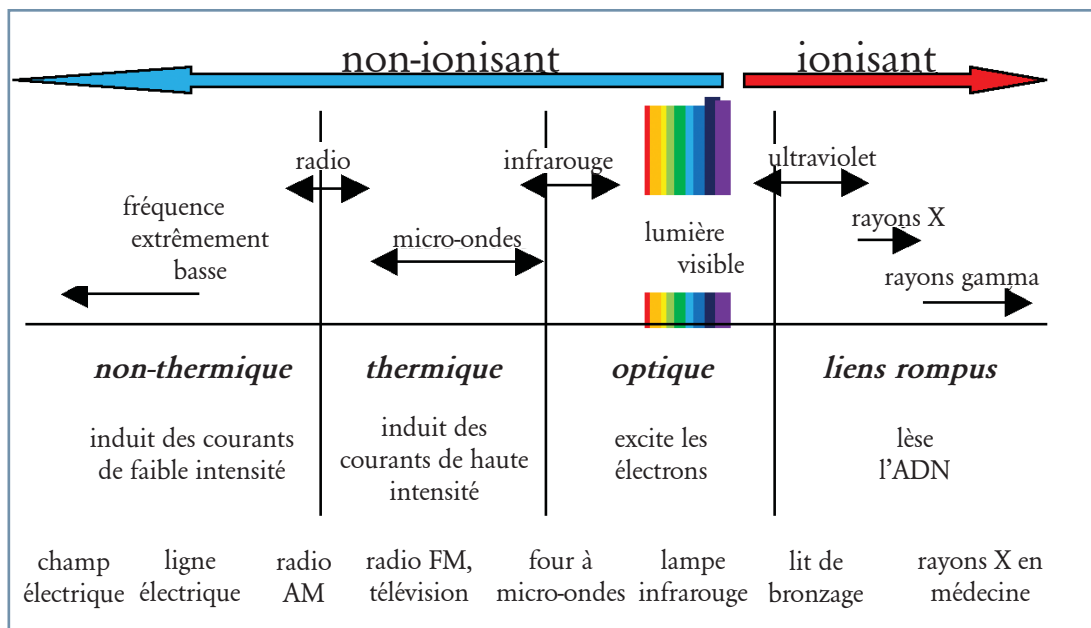
## Rayonnement ionisant

Le noyau d'un atome peut se désintégrer, ou se transformer, en émettant de l'énergie sous forme de particules ou d'ondes. La **désintégration alpha** survient lorsque le noyau d'un atome d'élément radioactif, comme l'uranium, émet une particule alpha. Si les **particules alpha** sont présentes à l'état naturel, elles n'en possèdent pas moins suffisamment d'énergie pour participer aux réactions nucléaires. Identiques aux noyaux d'hélium, les particules alpha renferment chacune deux protons et deux neutrons.

Lorsqu'un atome instable se désintègre ou se transforme spontanément, son noyau peut aussi émettre une **particule bêta** et un **neutrino**. La particule bêta peut être de charge positive (**positron**) ou de charge négative, comme l'**électron**. Le neutrino émis est électriquement neutre. La désintégration bêta survient lorsque le noyau d'un atome possède trop de protons ou de neutrons. La faible force nucléaire occasionne alors la conversion d'un neutron en proton (ou vice versa) pour que le noyau puisse redevenir stable. En général, les particules bêta sont une forme de rayonnement ionisant. Il existe toutefois des particules bêta de faible énergie non ionisantes.

Le **rayonnement gamma** est une forme de rayonnement ionisant qui, de ce fait, produit des modifications chimiques dans les substances qu'il traverse. Les éléments possédant un numéro atomique élevé comme le plomb ont la densité nécessaire pour absorber les rayons gamma et les empêcher de pénétrer d'autres corps ou substances. Il est à noter toutefois que le coefficient d'atténuation peut varier pour un même numéro atomique. Les chercheurs doivent donc prendre en considération des aspects autres que le seul numéro atomique pour déterminer si un élément donné bloquera ou non les rayons gamma.

Toute forme de rayonnement ionisant peut détruire ou léser l'ADN des cellules. Il est prouvé que l'exposition à de fortes doses de rayonnement ionisant entraîne des mutations chez les descendants des victimes. Selon M. David Boreham, de l'Université McMaster, de faibles niveaux de rayonnement ionisant peuvent contribuer à protéger les cellules des lésions à l'ADN dues à d'autres causes et contribuer à réduire les risques de cancer. Ses idées controversées se fondent sur des études réalisées sur des souris de laboratoire.



**Figure 3-4**

Le tableau ci-dessus illustre la relation entre les différents types de rayonnement et le spectre électromagnétique.

La plupart des chercheurs qui étudient le rayonnement effectuent des analyses statistiques portant sur les victimes de cancer comme ceux ayant survécu à des catastrophes telles que les bombardements atomiques de Hiroshima et de Nagasaki, le désastre de Three Mile Island et celui de Chernobyl. Boreham souhaite remettre en cause la notion selon laquelle il n'est possible d'arriver à des conclusions de grande portée qu'à partir de statistiques sur les doses de rayonnement à grande échelle.

Il est possible de déterminer mathématiquement la quantité de **rayonnement gamma** qu'absorbera une substance donnée : la probabilité d'absorption est proportionnelle à l'épaisseur de la substance. Cette relation s'exprime par la formule que voici :

Équation d'absorption du rayonnement gamma :  $I(d) = I_0 e^{-\mu d}$

Dans cette équation,  $I_0$  représente le nombre initial de rayons gamma (ou intensité incidente),  $I(d)$  représente le nombre de rayons gamma qui traversent la substance d'une épaisseur  $d$  (mesurée en cm),  $e$  est la constante mathématique 2,71828183 et  $\mu$  est le coefficient d'absorption. La valeur du coefficient d'absorption dépend du niveau d'énergie de chaque rayon gamma : plus le niveau d'énergie est élevé, plus le coefficient d'absorption est faible.

Substance	$\mu$	Substance	$\mu$
Carbone	0,0244	Cadmium	0,035
Aluminium	0,0264	Uranium	0,0459
Eau	0,0284	Plomb	0,436
Iodure de sodium	0,0350		

Source : The American Physical Society, « Gamma Ray Absorption Coefficients at 6.13 MeV. », *Physical Review Online Archive*, 7 septembre 1954. Consulté le 29 juillet 2008 [http://prola.aps.org/abstract/PR/v96/i6/p1563\\_1](http://prola.aps.org/abstract/PR/v96/i6/p1563_1)



### Exemple de calcul :

Un travailleur vient d'être exposé à un rayonnement gamma. Les équipes d'intervention en présence de matières dangereuses sont prêtes à intervenir pour déterminer si les niveaux de rayonnement sont suffisamment élevés pour causer du dommage à long terme. Elles fondent leurs calculs en tenant pour acquis que le niveau d'énergie des rayons gamma est de 100 keV. À un tel niveau d'énergie,  $\mu = 0,1692$ . Si un muscle du bras du travailleur exposé a 4 cm d'épaisseur, compare la quantité de rayonnement gamma qui a traversé ce muscle à la quantité de rayonnement qui l'aurait traversé si le travailleur avait été exposé à des rayons X de 30 keV, et pour lesquels  $\mu = 0,3651$ .

### Solution :

$$\text{Premier scénario : } I(d) = I_0 e^{-\mu d}$$
$$I(d) = I_0 e^{(-0,1692 \times 4)} = I_0 (0,5082)$$

$$\text{Second scénario : } I(d) = I_0 e^{-\mu d}$$
$$I(d) = I_0 e^{(-0,3651 \times 4)} = I_0 (0,2321)$$

$0,5082/0,2321 =$  plus du double de rayons traversent le muscle du travailleur dans le 1er scénario (rayons gamma) par comparaison au 2<sup>e</sup> scénario (rayons X).



Figure 3-5

## Vérifie tes connaissances

### Le rayonnement émet-il une lueur verte?

**Origine de la croyance :** La « logique » des bandes dessinées nous pousse à croire qu'une personne exposée à une source de rayonnement émet une lueur verte et devient radioactive. Une telle idée remonte peut-être au début du 20<sup>e</sup> siècle, époque à laquelle les montres vertes qui luisaient dans l'obscurité renfermaient de la peinture à base de radium. Les travailleurs qui avaient l'habitude de lécher pour effiler la pointe de leur pinceau pour pouvoir peindre les chiffres minuscules du cadran finissaient après plusieurs mois par souffrir de maladies associées au rayonnement.

**Les faits :** La peinture à base de radium utilisée pour ces montres du début du 20<sup>e</sup> siècle renfermait un luminophore (métal de transition ayant la propriété de luire dans l'obscurité), à l'origine de la lueur verte. Le radium est à la fois phosphorescent et radioactif, mais la phosphorescence est le phénomène à l'origine de la lueur. Chez l'humain, le sens de la vue ne permet de percevoir qu'une petite portion du spectre électromagnétique — la lumière visible. Le rayonnement, sous toutes ses formes, ne s'approche nullement de cette partie du spectre (ni par sa longueur d'onde ni par sa fréquence). Ainsi, à moins que l'œil humain ne soit génétiquement modifié de manière à pouvoir percevoir les interférences des rayons alpha, bêta, gamma ou X, nous ne serons jamais capables de percevoir une « lueur radioactive »... qu'elle soit verte ou de toute autre couleur!

### Exercices pratiques :

- 1 Compare le nombre de rayons gamma non absorbés pour une substance de 30 cm d'épaisseur si le coefficient d'absorption est de 0,000025 pour un niveau énergétique de 1 000 keV, et de 0,00027 pour un niveau énergétique de 120 keV.
- 2 Si une substance de 10 cm d'épaisseur laisse passer 35 fois plus de rayons gamma lorsque ceux-ci ont une énergie de 90 keV que lorsqu'ils ont une énergie de 30 keV, calcule le coefficient d'absorption pour les rayons gamma de niveau énergétique supérieur en supposant que  $\mu = 0,018$  pour les rayons de 30 keV.

## Effets somatiques

Les lésions par irradiation causées aux organismes vivants se divisent en deux catégories : effets somatiques et effets génétiques. Les **effets somatiques** par irradiation sont les dommages causés à toute partie du corps *autre que* les organes reproducteurs. Ils affectent directement la personne exposée au rayonnement, et ne concernent aucunement les effets ultérieurs observés chez les générations futures. Les lésions cutanées par exposition excessive au rayonnement peuvent ultérieurement favoriser l'apparition d'un cancer. L'irradiation de la moelle osseuse peut être une cause d'anémie (faible taux de globules rouges) et donc de fatigue et de faiblesse musculaire. L'irradiation du tractus gastrointestinal peut être une cause de mauvaise digestion et de malabsorption des nutriments. Les doses élevées de rayonnement peuvent provoquer la perte des cheveux et poils et la sécheresse de la peau. Avec le temps, elles peuvent provoquer le cancer et la formation de cataractes sur le cristallin des yeux. Le risque de voir apparaître de tels types de lésions somatiques est généralement proportionnel au niveau d'exposition au rayonnement au-delà d'un certain seuil.

### Savais-tu que...

#### *Hiroshima et Nagasaki, le Japon et la Seconde Guerre mondiale*

Le 6 août 1945, les Américains larguaient la première bombe atomique sur Hiroshima, au Japon. Trois jours plus tard, une autre bombe atomique tombait sur Nagasaki. La dévastation causée par ces deux bombes fut considérable. Les deux villes furent réduites en cendres et en gravats. Des milliers de personnes furent tuées instantanément par les déflagrations. Les médecins qui y ont survécu et qui ont tenté de traiter les survivants étaient dépassés par le nombre et la gravité des blessures. Un documentaire de la PBS intitulé *The Day After Trinity* comporte des entrevues réalisées auprès des scientifiques qui ont participé à la fabrication des armes atomiques et qui expliquent la nature de la maladie généralisée dite maladie des rayons causée par ces explosions.

Un jour après le bombardement de Nagasaki, le photographe Yosuke Yamahata a entrepris de photographier la dévastation. Un peintre et un écrivain l'ont accompagné dans son aventure et ont consigné leurs réactions. Cinquante ans plus tard, ces souvenirs sous forme de photos et de textes sont présentés sur l'Internet pour que tous puissent voir et se souvenir. Il vaut la peine que tu réfléchisses à cet événement de l'histoire mondiale et que tu en discutes avec tes amis.

L'exposition NAGASAKI JOURNEY est présentée sur l'Internet à [www.exploratorium.edu/nagasaki/index.html](http://www.exploratorium.edu/nagasaki/index.html) (site anglais). Hiroshima & Nagasaki ([www.hiroshima-nagasaki.org](http://www.hiroshima-nagasaki.org)) présente des informations et des témoignages de cet événement. Les archives de Radio Canada présentent un dossier intitulé Horreur atomique à Hiroshima (<http://larchives.radio-canada.ca>).



**Figure 3-6**  
Nagasaki, août 1945

## Effets génétiques

Le rayonnement à l'origine des **effets génétiques** atteint directement les organes reproducteurs et affecte par conséquent tous les descendants des victimes. Ces dommages par irradiation touchent les gènes et les chromosomes, qui sont transmissibles aux générations futures. Les études menées auprès des survivants des bombardements de Hiroshima et de Nagasaki et de ceux de Chernobyl en Ukraine font état de taux accrus de mortinaissance, d'avortement spontané et de mortalité infantile. Les enfants qui survivent à leurs premières années de vie sont souvent atteints de leucémie ou de microcéphalie (retardement du développement crânien), présentent des malformations congénitales (absence d'un membre, grosses excroissances), ou souffrent de déficiences mentales.

Lorsque l'exposition au rayonnement n'est pas aiguë, les effets génétiques peuvent être mineurs, voire inexistantes. Santé Canada reconnaît toutefois que même l'exposition à doses extrêmement faibles de rayonnement au cours d'exams médicaux comme les rayons X ou la tomographie par émission de positons peut avoir des répercussions sur le fœtus. Il n'est donc pas recommandé de subir des exams par rayonnement ionisant au cours de la grossesse.

## Cancer Warrior

[www.pbs.org/wgbh/nova/cancer/program.html](http://www.pbs.org/wgbh/nova/cancer/program.html) (site anglais)

Diffusé initialement en février 2001, le documentaire de NOVA d'une durée de une heure intitulé « Cancer Warrior » peut être entièrement visionné en ligne. On y suit les travaux du **Dr Judah Folkman** du Children's Hospital de Boston, qui a consacré plus de 30 ans à la recherche de moyens permettant de freiner l'évolution du cancer en stoppant l'apport sanguin aux tumeurs. Tu pourras y suivre la croissance d'une **tumeur maligne** de son apparition sous forme de cellule unique jusqu'à ce qu'elle atteigne la taille d'un raisin. Tu découvriras les découvertes novatrices faites par le Dr Folkman et son équipe de recherche au fil des ans. Malgré le décès du Dr Folkman en janvier 2008, de nombreux nouveaux projets à la fine pointe de la recherche sur le cancer se fondent sur ses travaux.



**Figure 3-7**  
Plaque commémorative au site initial d'essai atomique du Nouveau-Mexique

## Dans les médias

### *Fat Man and Little Boy – La filière winnipégoise*

En 1989, Paramount Pictures lançait le film *Fat Man and Little Boy*, qui relate l'histoire du projet Manhattan. Le projet Manhattan était un projet de guerre secret mis sur pied par le gouvernement américain (essentiellement à Los Alamos, au Nouveau-Mexique) et qui devait mener à la fabrication de la première bombe atomique au monde. Le projet a mobilisé plus de 6 000 scientifiques et ingénieurs œuvrant dans des laboratoires à l'échelle des États-Unis.

L'un des principaux personnages du film, Michael Merriman, est interprété par John Cusack. Bien que le film n'y fasse aucunement allusion, ce personnage s'inspire de la vie d'un vrai scientifique de Winnipeg, Louis Slotin, un Manitobain et l'un des quelques Canadiens à avoir participé au projet Manhattan, est né en 1910. Titulaire d'un diplôme en sciences de l'Université du Manitoba, il s'était mérité des médailles d'or tant en physique qu'en chimie.

L'une de ses tâches dans le cadre du projet de recherche de Los Alamos consistait à mener des expériences sur des cœurs d'uranium et de plutonium pour en déterminer la masse critique. Le 21 mai 1946 (presque une année entière après les bombardements de Hiroshima et de Nagasaki), au cours d'une de ces expériences, Slotin a été impliqué dans un accident grave survenu dans son laboratoire et qui s'est traduit par l'émission massive de rayonnement dans l'environnement. D'autres membres de l'équipe de recherche se trouvaient à proximité. Neuf jours après l'accident, Slotin mourait des suites des blessures occasionnées par la dose massive de rayonnement. Un hommage posthume lui a été rendu pour son geste désintéressé qui a sauvé la vie de ses collègues. Sa famille a créé un prix en argent remis aux chercheurs qui utilisent des techniques de laboratoire sécuritaires.

## L'histoire du radiophysicien manitobain Louis Slotin

La Société Nucléaire Canadienne possède une publication d'archives qui présente un compte rendu très facile à lire et à comprendre de la carrière et des contributions scientifiques du winnipégois Louis Slotin. Fort heureusement, un lecteur a pris soin de rectifier quelques erreurs entourant l'incident fatal qui a causé la mort de Slotin.

Nous t'invitons à y jeter un coup d'œil à l'adresse suivante : [www.cns-snc.ca/medial/history/pioneers/slotin/slotin.html](http://www.cns-snc.ca/medial/history/pioneers/slotin/slotin.html) (site anglais)

### Questions :

- 1 Si tu as vu le film, dans quelle mesure dépeint-il avec précision ce très grave accident?
- 2 Crois-tu qu'il décrit avec justesse le personnage de Louis Slotin?

## SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS

Les quelques recherches menées par Francine l'ont rassurée à l'effet que même si les rayons X et la tomodontométrie impliquaient l'exposition au rayonnement, ces épreuves n'auraient aucune répercussion somatique ou génétique à long terme. Si elle avait été enceinte, le fœtus aurait pu être affecté — mais, dans un tel cas, le médecin n'aurait pas procédé à de tels examens diagnostiques. La prochaine étape consiste à procéder à une biopsie de la tumeur pour déterminer si elle est ou non cancéreuse. Un chirurgien va donc effectuer un petit prélèvement aux fins d'analyse en laboratoire.

*Va au chapitre 5 à la page 41 pour trouver des exemples de rayonnements naturels et artificiels (produits par l'humain).*

## Prolongement : les unités de mesure - une approche historique

Comme le rayonnement ionisant peut causer des dommages biologiques aussi bien à la personne directement exposée qu'à ses descendants, les scientifiques ont trouvé des façons de quantifier le rayonnement. Trois principales méthodes de mesure sont utilisées : l'exposition, la dose absorbée et la dose biologique équivalente.

**L'exposition** mesure la quantité d'ions produite dans l'air par les rayons X ou les rayons gamma. Ce fut la première méthode de mesure du rayonnement à être mise au point, l'unité de mesure ayant reçu le nom de l'un des scientifiques qui étudiaient les effets du rayonnement. Bien que le **roentgen (R)** soit encore utilisé de nos jours, l'unité de mesure du Système international d'unités (SI) utilisée pour mesurer l'exposition au rayonnement est le **coulomb par kilogramme (C/kg)**. Cette unité provient de la méthode de mesure, dans laquelle un faisceau de rayons X ou de rayons gamma est projeté à travers une masse (kg) d'air sec donnée à température et pression normales. Le faisceau produit des ions positifs de charge totale mesurable (C). Voici comment convertir les roentgens en coulombs par kilogramme :

Exposition (en roentgens) =  $2,58 \times 10^{-4} \text{ q/m}$

Exprimé autrement,  $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$

Les unités de mesure de l'exposition n'établissent toutefois aucun lien entre les effets du rayonnement et les tissus vivants. En ce qui concerne les tissus vivants, la **dose absorbée** est l'énergie du rayonnement absorbée par unité de masse de la matière absorbante (ou tissu vivant) :

Dose absorbée =  $\frac{\text{Énergie absorbée}}{\text{Masse de la matière absorbante}}$

L'unité du SI pour la dose absorbée est le **gray (Gy)**, qui est l'équivalent du **joule par kilogramme (J/kg)**. Une autre unité, qui ne fait pas partie du SI, est le **rad (rd)**. Le mot « rad » correspond aux initiales de l'expression anglaise « radiation absorbed dose », soit dose absorbée de rayonnement. Voici la formule d'équivalence entre le rad et le gray :  
 $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ gray}$

### QUESTIONS :

- 1 Qu'est-ce que la température et la pression normales? Comment l'augmentation de la température peut-elle influencer sur la quantité d'ionisation dans l'air due au rayonnement? Comment l'augmentation de la pression peut-elle influencer sur la quantité d'ionisation dans l'air due au rayonnement?
- 2 Dans les tissus humains, un roentgen d'exposition au rayonnement gamma correspond à environ un rad de dose absorbée. Pourquoi cette valeur (1 rad) est-elle approximative?

L'unité de dose absorbée était une amélioration par rapport à l'unité d'exposition antérieure; toutefois, les chercheurs ont vite compris que l'importance des lésions aux tissus vivants attribuables au rayonnement ionisant variait selon les formes de rayonnement. L'unité de dose absorbée ne donnait aucune indication à pareil égard. Pour comparer les lésions causées par différents types de rayonnement, les scientifiques utilisent le concept d'efficacité biologique relative (EBR), ou facteur de qualité.

L'efficacité biologique relative d'une forme de rayonnement donnée compare la dose de rayons X de 200 keV nécessaire pour produire un certain type de lésion à la dose d'une forme de rayonnement donnée nécessaire pour produire le même effet biologique :

$$\text{Efficacité biologique relative (EBR)} = \frac{\text{Dose de rayons X de 200 keV produisant un certain effet biologique}}{\text{Dose de rayonnement autre produisant le même effet biologique}}$$

L'EBR dépend du type de rayonnement ionisant et de son niveau d'énergie, ainsi que du type de tissu irradié. L'EBR du rayonnement gamma et des particules bêtas négatives (électrons) est de 1, alors que l'EBR des protons est de 10. La valeur supérieure associée aux protons signifie qu'ils provoquent plus de lésions que les rayons gamma et les particules bêtas. Les particules alpha, les protons et les neutrons ont tous une EBR supérieure à celle des rayons gamma et des particules bêtas.

Parfois, l'EBR et la dose absorbée (en rads) sont combinées pour obtenir ce que l'on appelle la **dose biologique équivalente** :

$$\text{Dose biologique équivalente} = \frac{\text{Dose absorbée}}{\text{(en rads)}} \times \text{EBR}$$

L'unité de mesure de la dose biologique équivalente est le **rem**, mot qui correspond aux initiales de l'expression anglaise « roentgen equivalent, man », soit équivalent-homme de roentgen. L'exposition aux rayonnements au travail est mesurée en rems. En général, il n'y a aucun effet biologique observable lorsqu'une personne est exposée à un rayonnement d'au plus 25 rems. (Il est à souligner que le gouvernement impose des seuils en ce qui concerne la quantité de rayonnement à laquelle les travailleurs peuvent être exposés dans leur milieu de travail — aucune valeur supérieure à 5 rems n'est autorisée.) Voici quelques statistiques permettant de mettre les choses en perspective en ce qui concerne le rem et le millirem (un millième de rem, ou mrem) : il est possible d'accroître son exposition totale au rayonnement de 1 mrem en regardant moyennement la télévision durant une année. C'est là la même quantité de rayonnement que celle à laquelle est exposé un voyageur qui traverse le Canada en avion d'est en ouest.

L'unité du SI pour la dose biologique équivalente est le **sievert (Sv)**. Un sievert équivaut à 100 rems.

Lorsque l'exposition au rayonnement survient au cours d'une certaine période, elle est exprimée sous forme de **débit de dose**, mesuré en millirems par heure (mrem/h).

### Enquête :

1. La vaisselle de marque Fiestaware était populaire dans les années 1960. Toutefois, nous savons maintenant qu'elle émet un faible niveau de rayonnement. Quelle en est la cause et quel est le niveau du rayonnement (en rems) émis?
2. À combien de rems de rayonnement la Suisse a-t-elle été exposée lorsque le nuage radioactif provenant de Chernobyl en Ukraine est passé au-dessus du pays?

## Exercice de calcul :

- 1 Une personne est exposée aux formes suivantes de rayonnement : 20 mrads de rayons gamma, 35 mrads d'électrons, 10 mrads de protons et 5 mrad de neutrons lents (EBR = 2). Classe ces différents types de rayonnement par ordre décroissant d'intensité en fonction de leur dose biologique équivalente.
- 2 Si une personne est exposée à deux types de rayonnement différents pour lesquels la dose absorbée est la même mais l'EBR diffère, quel type de rayonnement occasionnera les lésions les plus graves, celui pour lequel la valeur de l'EBR est la plus grande ou celui pour lequel elle est la plus faible?
- 3 La dose biologique équivalente type d'un rayon X du thorax est de  $2,5 \times 10^2$  rems. Si la masse de tissu exposée est de 19 kg et si l'énergie absorbée est de  $5,9 \times 10^{-3}$  J, quelle est la valeur de l'EBR de ce type de rayonnement pour les tissus du thorax? Comment cette valeur se compare-t-elle à celle de l'EBR dans le cas des rayons gamma?
- 4 Si tu passes une demi-heure dans un endroit où le débit de dose d'une source de rayonnement inconnue est de 40 mrems/h, à quelle dose totale de rayonnement seras-tu exposé? Si le rayonnement était dirigé vers ton thorax (comme à la question n° 3) et que la masse de tissus exposée et la quantité d'énergie absorbée étaient les mêmes, quelle serait l'EBR de cette source de rayonnement inconnue?

## Les unités de mesure... une autre approche

Imagine que tu sois dehors sous la pluie. Si nous pouvions nous servir des unités du SI utilisées pour le rayonnement et la radioactivité et les associer d'une manière quelconque au phénomène de la pluie, alors :

- le nombre de particules de poussière qui deviennent des gouttes de pluie serait comparable à l'exposition, et se mesurerait en **coulombs par kg**;
- la quantité de gouttes de pluie qui te toucheraient serait semblable à la **dose absorbée**, et se mesurerait en **grays**;
- toute l'eau qui s'accumulerait sur toi équivaldrait à la **dose biologique équivalente**, et se mesurerait en **Sieverts**.

### SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : l'intervention chirurgicale de Francine

L'intervention chirurgicale destinée à retirer les deux fragments d'os s'est déroulée avec succès. Même si tout cela l'a beaucoup fatiguée, Francine sait qu'elle a franchi un autre pas vers la guérison complète. La biopsie de la tumeur a eu lieu durant la même intervention, et son médecin n'a pas tardé à lui apprendre qu'il s'agissait en effet d'une tumeur maligne (cancéreuse). Elle doit maintenant discuter avec lui des différentes options de traitement et de leurs effets secondaires possibles.



Figure 3-8

## Choix de carrière

### Expert-conseil en environnement

Des perspectives de carrière existent dans tous les secteurs et les industries qui utilisent les technologies de rayonnement – centrales nucléaires, laboratoires de recherche, hôpitaux et usines de la défense. Les experts-conseils en environnement au service des gouvernements et de l'industrie veillent au respect des normes qui assurent la protection de l'environnement et des populations. Qu'il s'agisse de la décontamination ou du déclassement de réacteurs, les experts-conseils en environnement sont présents pour voir à l'application des consignes adéquates aussi bien pour le nettoyage que pour le stockage des déchets.

Site Web liens carrière – Eco Canada : [www.eco.ca](http://www.eco.ca)



Figure 3-9

## Révision du chapitre 3 : concepts et termes

**Concepts :** Le rayonnement électromagnétique dont l'énergie n'est pas suffisante pour ioniser un atome est qualifié de non ionisant. La lumière visible, la lumière infrarouge, les micro-ondes et les ondes radio en sont autant d'exemples.

Le noyau d'un atome qui se désintègre émet de l'énergie sous forme de particules ou d'ondes. La désintégration alpha comme la désintégration bêta émettent des particules (particules alpha, et positrons ou particules bêtas, respectivement). Dans les deux cas, il y a rayonnement ionisant. Le rayonnement gamma est une forme de rayonnement ionisant qui induit une modification chimique dans la substance qu'il traverse.

Ce chapitre comporte des volets mathématiques dont le calcul de la quantité de rayons gamma absorbée par une substance donnée, ainsi qu'un aperçu de l'évolution historique des unités de mesure et de leurs relations. Les effets somatiques sont les dommages causés par le rayonnement aux tissus du corps humain autres que les organes reproducteurs. Les effets génétiques sont les dommages causés par le rayonnement aux organes reproducteurs.

Termes	
dose absorbée	microcéphalie
coefficient d'absorption ( $\mu$ )	neutrino
dose biologique équivalente	rayonnement non ionisant
débit de dose	facteur de qualité
rayonnement gamma	unité de dose absorbée de rayonnement (rad)
effet génétique	efficacité biologique relative (EBR)
gray (Gy)	roentgen (R)
intensité incidente ( $I_0$ )	équivalent-homme de roentgen (rem)
métastase	sievert (Sv)
effet somatique	

# chapitre 4

## Radiothérapie

### SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : le traitement de Francine

Le médecin a expliqué à Francine qu'elle devrait subir des examens périodiques après la chirurgie pour suivre le processus de guérison et s'assurer qu'il n'y ait pas de signes de réapparition du cancer. Le médecin l'a aussi assurée qu'il n'y aurait pas d'effet génétique (que les traitements de radiothérapie n'auraient aucune conséquence pour les enfants qu'elle pourrait avoir dans l'avenir), à moins qu'elle soit actuellement enceinte. La quantité totale de rayonnement à laquelle elle a déjà été exposée du fait des rayons X et de la tomodensitométrie est aussi jugée minimale en comparaison de celle associée aux options de traitement. Francine a posé des questions et a écouté attentivement les réponses relatives aux deux options de traitement décrites par le médecin, soit la radiothérapie ou la chirurgie plus la radiothérapie.



Figure 4-1

### Historique de la radiothérapie

La découverte des rayons X en 1896 a finalement mené à leur utilisation pour le traitement du cancer vers 1899. Les publications parues au cours de cette année-là faisaient état d'un cas de cancer de la peau guéri au moyen de traitements aux rayons X.

Aux premiers temps de la radiothérapie, le **radium** était considéré comme la source par excellence. Le calcul des doses était impossible car les connaissances entourant le radium et la quantité de rayonnement émis étaient insuffisantes. Un tel savoir limité et une telle technologie rudimentaire ne permettaient de traiter que les cancers superficiels. À l'époque, de nombreux cas de lésions tissulaires, de récurrence de cancers et de décès résultant des traitements de radiothérapie furent rapportés. La peur qu'inspire encore de nos jours la radiothérapie provient peut-être de cette époque où les méthodes étaient mal comprises et non maîtrisées.

Vers la fin des années 1920, on avait établi une unité de mesure de dosage. Les médecins modifièrent alors leurs techniques, remplaçant les doses de rayonnement massives par des doses quotidiennes moindres dirigées vers la région du corps à traiter. Bien que les traitements parvinrent à prolonger quelque peu la vie des patients, les taux de survie n'étaient pas encore assez importants pour susciter la confiance dans les techniques ou les technologies utilisées. Il fallait donc approfondir davantage les recherches touchant aux méthodes et à l'équipement et mettre au point des technologies permettant d'obtenir un rayonnement de niveau énergétique supérieur.

Peu après la fin de la Seconde Guerre mondiale, le **cobalt-60** (isotope radioactif produit artificiellement à partir du cobalt-59, un isotope stable) a remplacé le radium comme substance radioactive de choix pour les traitements. Le Canada a joué un rôle de premier plan dans cette nouvelle ère de la médecine nucléaire. Les technologies mises au point ont permis de produire des faisceaux de haute énergie utilisés pour les traitements. Les niveaux énergétiques accrus ainsi obtenus ont permis de cibler les cancers sous cutanés et d'atténuer les réactions cutanées graves observées dans le passé. L'avènement de l'ère de l'informatique a permis de procéder au calcul rapide et précis des doses, d'orienter l'énergie du rayonnement vers les zones cibles et de limiter, voire d'éliminer les lésions aux cellules saines. Les médecins et les physiciens médicaux n'ont pas tardé à entreprendre des essais cliniques, à créer une base de données permettant de se faire une opinion mieux éclairée sur le choix des méthodes de traitement.

De nos jours, les traitements de radiothérapie offrent réellement aux patients la possibilité de limiter l'évolution de leur cancer, voire de le guérir.

L'Association nucléaire canadienne conserve un grand nombre de modules en ligne à l'intention des élèves qui te permettent de découvrir l'univers de l'industrie nucléaire. Si tu souhaites approfondir tes connaissances de l'histoire du Canada en rapport avec le secteur de la médecine nucléaire, consulte le Web à l'adresse suivante :

[www.cna.ca/](http://www.cna.ca/) et clique sur le lien vers « ressources éducatives ». Recherche aussi le lien vers « Utilisations de la technologie nucléaire ».



# activité

## Une expérience personnelle du cancer

As-tu déjà reçu un diagnostic de cancer, ou un membre de ta famille ou de ton cercle d'amis a-t-il déjà reçu un tel diagnostic?

Quels types de traitement cette personne a-t-elle reçus?

Quels effets secondaires a-t-elle ressentis?

Cela a-t-il eu des répercussions sur sa vie quotidienne?

De quelle manière son combat contre le cancer t'a-t-il inspiré?

## Savais-tu que...

### Eau potable chlorée et risque de cancer



Figure 4-2

**Question :** Votre eau potable est-elle chlorée?

Depuis des décennies, des chercheurs étudient le lien entre l'eau chlorée et le cancer. La plupart des études montrent qu'à long terme la consommation d'eau chlorée augmente légèrement les risques de cancer, particulièrement de cancer de la vessie. À l'heure actuelle, on croit que les bienfaits de la chloration l'emportent sur la faible augmentation du risque de cancer.

Depuis plus de 100 ans, les humains ajoutent du chlore à l'eau pour la rendre davantage propre à la consommation. L'utilisation du chlore pour désinfecter l'eau et tuer les microbes a permis de prévenir de nombreuses maladies. En 2000, l'entretien et le traitement inadéquats de l'eau de puits à Walkerton, en Ontario, a entraîné plus de 2 300 cas de maladie et 7 décès. Non seulement le chlore tue les microbes à l'usine de traitement, mais ses effets perdurent tandis que l'eau s'écoule de l'usine de traitement jusqu'à votre robinet, garantissant que l'eau que vous buvez est propre à la consommation.

Les problèmes surviennent lorsque le chlore réagit avec des matières végétales qui n'ont pas été éliminées de l'eau à traiter. De meilleures méthodes de filtration et la détermination davantage précise de la quantité de chlore nécessaire diminuent les risques associés à la chloration.

Le traitement par rayonnement ultraviolet (UV) est actuellement utilisé à Winnipeg, au Manitoba, dans certaines parties du système de traitement de l'eau de ville. Ce type de traitement est efficace contre la plupart des microbes, mais son efficacité est moindre lorsque l'eau est trouble. Les effets du traitement par rayonnement UV ne durent pas jusqu'à l'acheminement de l'eau jusqu'au robinet, de sorte que ce type de traitement est encore utilisé en combinaison avec la chloration pour garantir de meilleurs résultats.

Source : Auteur inconnu, *Chloration de l'eau*, Société canadienne du cancer, 15 mai 2008. Consulté le 29 juillet 2008, [www.cancer.ca/canada-wide/prevention/specific\\_environmental\\_contaminants/chlorinated\\_water.aspx?sc\\_lang=fr-CA](http://www.cancer.ca/canada-wide/prevention/specific_environmental_contaminants/chlorinated_water.aspx?sc_lang=fr-CA)



Figure 4-3

## Thérapie radio-isotopique

La thérapie radio-isotopique utilise un isotope comme source radioactive. Cette source est jumelée à un appareil qui dirige des faisceaux de photons, d'électrons, de neutrons, de protons ou d'ions destinés à endommager l'ADN des cellules au niveau atomique. Les cellules cancéreuses se reproduisent généralement en plus grand nombre et plus rapidement que les cellules saines normales. Elles sont aussi moins aptes qu'elles à réparer les dommages cellulaires. Aussi, lorsque le rayonnement endommage l'ADN, les lésions ainsi causées sont transmises à la génération suivante de cellules. Les cellules cancéreuses ralentissent leur reproduction ou meurent purement et simplement.

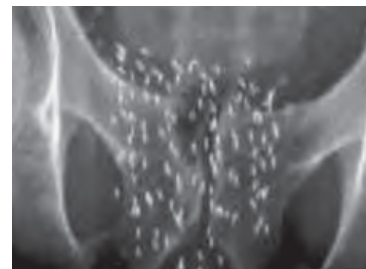
Il existe trois principaux types de radiothérapie : la curiethérapie, la radiothérapie systémique et la téléthérapie. Chacun d'entre eux comporte des avantages et des désavantages et convient mieux au traitement de certains types de cancer.

**Figure 4-3** Les « grains » utilisés pour la curiethérapie sont plus petits que les grains de blé et plus minces que la mine d'un crayon. Le palladium-103, l'iode 125 et le césium 131 sont les isotopes généralement utilisés dans les implants. Ces isotopes émettent tous un rayonnement de très faible énergie. Quoi qu'il en soit, les patients sont invités à faire preuve de prudence en évitant tout contact physique avec les femmes enceintes et les enfants au cours des premiers jours du traitement pour ne pas les exposer à la désintégration radioactive.

## Méthodes de traitement internes : la curiethérapie

La curiethérapie est parfois appelée radiothérapie interne ou radiothérapie par implant. De minuscules grains radioactifs scellés, ou implants, sont introduits dans le corps du patient autour de la masse cancéreuse. La curiethérapie consiste à administrer une dose concentrée sur la tumeur, ou à proximité de la tumeur pendant un court laps de temps. Ainsi, 40 à 60 implants peuvent demeurer en permanence dans le corps du patient ou en être retirés après un traitement temporaire. Leur retrait dépend du type de cancer à traiter. Les implants temporaires sont laissés dans le corps du patient durant une période variant entre plusieurs heures et plusieurs jours. Durant toute cette période, le patient demeure isolé dans une chambre d'hôpital.

En général, l'implantation nécessite une anesthésie. La plupart des patients sentent peu de malaise, voire aucun malaise au cours de la curiethérapie. L'utilisation d'applicateurs pour maintenir en place les implants provoque un certain malaise, mais les patients sont capables de reprendre leurs activités normales quelques jours après le traitement.



**Figure 4-4**  
Cette figure est une radiographie montrant la disposition des granules radioactifs autour d'une tumeur cancéreuse de la prostate

### Le lien avec le cancer

#### Thérapie photodynamique

Au cours des huit dernières années, une forme relativement nouvelle de traitement du cancer a été mise au point — la thérapie photodynamique. Elle consiste à administrer au patient par injection une substance chimique photosensible. La substance migre vers les cellules de l'organisme à croissance la plus rapide (les cellules cancéreuses). Une fois la substance déposée sur la masse cancéreuse, on l'active au moyen d'un laser (figure 4-4). Elle détruit littéralement les cellules cancéreuses.

Cette technologie est beaucoup moins invasive ou dangereuse que d'autres techniques. Simple à utiliser, elle demeure néanmoins très coûteuse. La thérapie photodynamique est surtout efficace pour les cancers de la peau, des poumons, de l'œsophage, du cerveau et de la vessie.



**Figure 4-5**

### Question :

L'usage de cette technologie pour le traitement des enfants poserait-il des complications?

## Méthodes de traitement internes : la radiothérapie systémique

La radiothérapie systémique est aussi appelée radiothérapie interne avec source non scellée. Elle consiste à administrer au patient une source radioactive sous forme de boisson, de capsule ou d'injection. La source radioactive circule dans l'organisme et s'accumule dans les endroits où la croissance cellulaire est la plus rapide (sur les cellules cancéreuses). Avec le temps, la source radioactive émet de l'énergie et se désintègre, tuant les cellules cancéreuses pour être ensuite éliminée par l'organisme. Ce type de thérapie est indolore. Les radiothérapeutes expliquent au patient les précautions à prendre pendant les quelques jours où son organisme éliminera la source radioactive de haute intensité, période au cours de laquelle il devra peut-être demeurer isolé dans une chambre d'hôpital.



**Figure 4-6**

**Figure 4-5** On administre parfois des capsules d'iode radioactif aux patients souffrant de cancer de la thyroïde. Des chercheurs ont établi un lien entre l'incidence accrue des cancers de la thyroïde observée en Ukraine et dans les pays entourant le Bélarus et la Russie au désastre nucléaire de Tchernobyl de 1986. Les personnes les plus affectées étaient des enfants au moment de l'explosion et de l'incendie du réacteur et vivaient à proximité du complexe abritant le réacteur n° 4. De nombreux scientifiques acceptent l'hypothèse selon laquelle l'administration d'un comprimé d'iodeure de potassium aux victimes immédiatement après leur exposition aux retombées radioactives aurait permis de réduire considérablement le nombre de cas de cancer de la thyroïde. Chez l'humain, l'iode se concentre dans la glande thyroïde, et ce, plus rapidement chez les enfants en croissance que chez les adultes.



*Figure 4-7 Un gymnase près de Tchernobyl.*



*Figure 4-6 Une salle de cours de chimie dans la « zone interdite », près du site de Tchernobyl.*

## Dans les médias

### *L'accident de Tchernobyl... Deux décennies plus tard*

En 1986, le pire désastre nucléaire civil au monde survenait à Tchernobyl, en Ukraine. Le 25 avril, des travailleurs s'apprêtaient à fermer le réacteur n° 4 pour un entretien de routine. Ils décidèrent de procéder à un essai de sûreté du réseau électrique pour déterminer s'il y avait suffisamment d'énergie pour alimenter le système de refroidissement du cœur du réacteur. Ils éteignirent le système de refroidissement d'urgence, et ce qui survint alors fut une série d'erreurs opératoires et les conséquences de défauts de conception qui ont conduit à une surtension, à une explosion d'hydrogène et de vapeur, et au pire désastre nucléaire de l'histoire.

Dans les jours qui suivirent, les retombées atteignirent le Belarus, l'Ukraine, la Russie, la Pologne et la Suède. Les scientifiques suédois furent les premiers à alerter le monde du désastre, car, à l'époque, l'Union soviétique demeurait officiellement silencieuse.

Deux personnes sont mortes au moment de l'explosion, et 29 pompiers sont décédés dans la semaine qui a suivi. La mort des pompiers aurait pu être évitée, car ils ont été envoyés au site de l'explosion sans équipement de radioprotection adéquat.

Aujourd'hui, les effets à long terme de l'émission d'isotopes radioactifs sont encore étudiés. Les enfants, tant ceux qui se trouvaient à proximité du site au moment de l'explosion que ceux de la génération suivante, présentent une augmentation significative du taux de cancer de la thyroïde. Presque 2 000 cas ont été rapportés à ce jour. La liste en cours des maladies qui surviennent chez les 200 000 personnes et plus qui ont été affectées au nettoyage du site est stupéfiante — plus de 4 000 d'entre elles sont décédées des suites de l'exposition au rayonnement, et plus de 170 000 autres souffrent de diverses maladies chroniques. Ces ouvriers affectés aux opérations de récupération ont reçu des doses variant entre 0,01 et 0,5 Gy (grays). Une telle cohorte présente un risque de conséquences tardives comme le cancer ou d'autres maladies, et son état de santé sera sans doute étroitement suivi durant les décennies à venir.

La fermeture du dernier réacteur actif encore de Tchernobyl a eu lieu en 2000. Même si le réacteur détruit et les gravats résiduels n'ont pas tardé à être recouverts d'un sarcophage de béton et d'acier, cette structure est maintenant en train de se désagréger. L'Ukraine souhaite terminer les travaux de réfection de l'étanchéité du sarcophage d'ici la fin de 2008.

Nota : Les deux photos proviennent de la collection de David McMillan, du Manitoba, qui a visité la « zone interdite » des environs de Tchernobyl 20 ans après l'accident. Ces images montrent la dégradation infligée par le passage du temps et par le vandalisme.

Source : Stephen Murray, « *The Chernobyl Nightmare Revisited* », BBC News, 18 avril 2006. Consulté le 29 juin 2008.  
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/4918742.stm>



## Photographier la zone d'exclusion de Tchernobyl

*David McMillan*

En 1986, en raison de défauts de conception et d'erreurs humaines, un des quatre réacteurs situés à proximité de la ville ukrainienne de Tchernobyl\* a explosé. La contamination radioactive fut généralisée, mais elle a été jugée tellement grave dans un rayon de 30 kilomètres autour du réacteur endommagé que 135 000 personnes ont dû être évacuées. Mon intérêt pour la visite de ce qui a finalement été nommé la zone d'exclusion de Tchernobyl remonte à la lecture d'un article de magazine de 1994 traitant de l'état de la région après l'accident. Après de nombreux appels téléphoniques et envois de télécopies, j'ai été autorisé à entrer dans la zone et à photographier librement les lieux. Je me suis vite rendu compte que le sujet était à la fois diversifié et complexe, que j'avais là l'occasion de faire des photos que je ne pourrais réaliser nulle part ailleurs. Je n'avais jamais envisagé y retourner plus d'une ou deux fois, mais après chaque visite subséquente, je découvrais de nouvelles possibilités qui m'incitaient à revenir. Sur les millions d'acres que recouvre la zone d'exclusion se trouvent des champs laissés en jachère ainsi que des villes et des villages où subsistent les vestiges du défunt Empire soviétique et les débris de ce qui constituait le quotidien des gens qui y habitaient. À tout cela s'ajoute la prolifération de la nature et la dégradation du cadre bâti – le tout recouvert d'un rayonnement invisible. Chaque fois que j'y suis retourné pour photographier j'ai compris que le sujet dépassait ma conception initiale. Dans cette zone, demeurée virtuellement intouchée par la civilisation depuis l'accident de 1986, on perçoit une sorte de changement qui résulte du passage du temps et de l'inexorabilité de la nature.

Au cours des dernières années, j'ai presque exclusivement photographié la ville de Pripiat. Cette ville, qui comptait jadis 45 000 habitants, était la plus grande agglomération de la zone d'exclusion. Elle avait été construite pour héberger les travailleurs de la centrale nucléaire voisine, et plusieurs appartements étaient encore en construction au moment de l'accident. Pripiat comptait de nombreux terrains de jeux, écoles, maternelles, hôpitaux et aménagements culturels. La ville était considérée comme l'une des plus agréables de l'ancienne Union soviétique, mais plus jamais personne n'y vivra. Bien que je sois finalement parvenu à circonscrire le lieu géographique de mon travail, les possibilités qui s'offrent à moi semblent encore riches et variées.

*David McMillan est photographe et enseigne à l'École d'art de l'Université du Manitoba (2008). Depuis 2008, il s'est rendu dans la zone d'exclusion à 14 reprises pour y faire de la photo.*

\* La graphie française de ce nom russe est « Tchernobyl ». Depuis que l'Ukraine est devenue indépendante de l'Union soviétique en 1991, la graphie phonétique du nom ukrainien est « Tchernobyl »

# activité

## Faisceaux de lampes de poche



Choisis deux camarades de classe pour t'aider. Chacun d'entre vous doit avoir une lampe de poche de dimensions et de puissance différentes et se tenir en un point différent de la salle de classe. Tentez d'illuminer la figure 4-7 de cette page et rien d'autre. Quels problèmes rencontrez-vous?

Quelles variables devez-vous maîtriser ou modifier pour parvenir à un meilleur résultat?

Comment cet exercice vous aide-t-il à comprendre la radiothérapie de conformation avec modulation d'intensité de dose?



**Figure 4-8** Photo de l'appareil de traitement par accélérateur linéaire Clinac. Note que la source de faisceaux de haute énergie est conçue pour effectuer des rotations autour du patient.

## Méthodes de traitement externes : la téléthérapie

La téléthérapie, aussi appelée radiothérapie externe, se pratique au moyen d'un appareil servant à diriger le faisceau de rayonnements sur la région atteinte par le cancer et sur les tissus environnants. Ce type de thérapie est largement utilisé pour traiter la plupart des types de cancer. L'accélérateur linéaire, ou « linac », produit un faisceau de rayons X ou d'électrons de grande énergie. Un technicien, de concert avec un oncologue et un physicien médical, prévoit la taille et la forme du faisceau ainsi que le temps d'exposition du patient.

Comme cette forme de traitement utilise une source radioactive externe, aucune intervention chirurgicale n'est requise. Toutefois, on combine parfois la téléthérapie à d'autres formes de traitement comme la curiethérapie (selon le type de cancer).

La protonthérapie est une méthode de traitement similaire qui utilise les protons plutôt que les rayons X ou les électrons. Elle a pour avantage de permettre de régler plus facilement la taille et la forme du faisceau, ce qui réduit les dommages aux tissus sains entourant les tissus cancéreux. Tous les hôpitaux ne sont pas dotés de l'équipement requis pour ce type de traitement, car il est plus coûteux que celui utilisé pour les traitements habituels de téléthérapie.

La radiothérapie de conformation avec modulation d'intensité de dose est un type particulier de radiothérapie externe qui permet de conformer le faisceau de rayonnements à la taille et la forme exactes de la tumeur. L'intense faisceau initial est fractionné en faisceaux plus minces, et l'intensité de chacun de ces faisceaux peut être réglée individuellement. Cela accroît les chances de guérison tout en diminuant les lésions aux tissus sains.

## SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS

Francine et son médecin ont conclu qu'il était impossible de procéder à l'ablation chirurgicale de la tumeur car, comme elle n'est pas uniforme, il est probable qu'on ne puisse parvenir à l'éliminer entièrement. Mais quelle est la meilleure option? La radiothérapie systémique? La téléthérapie? Une combinaison des deux? Francine a besoin de davantage d'information pour être en mesure de prendre une décision mieux éclairée.

## Vérifie tes connaissances

### *Le lavement baryté est-il dangereux?*

**Origine de la croyance :** Un niveau élevé de malaise est associé au lavement baryté. L'instillation d'un liquide radioactif dans un orifice du corps fait croire aux gens qu'il s'agit d'un examen qui comporte des risques pour la santé.

**Les faits :** Le baryum n'est pas radioactif. Selon Santé Canada, un lavement baryté, bien qu'inconfortable, ne pose aucun risque important pour la santé du patient à moins qu'il n'y ait une petite lésion dans le tractus gastro-intestinal. En de rares occasions, l'insufflation d'air dans le tractus gastro-intestinal au cours du lavement peut provoquer une lésion de la paroi. Le cas échéant, il se peut que le sulfate de baryum liquide fuît dans la région intestinale. Dans une telle éventualité, une chirurgie et l'administration d'antibiotiques s'imposent pour prévenir l'infection.

Il arrive en de rares occasions qu'un patient puisse souffrir de constipation à la suite d'un lavement baryté. Il suffit alors de boire beaucoup d'eau pour remédier au problème. Après un lavement baryté, la plupart des patients ont des selles de couleur pâle et se sentent fatigués. Il est recommandé de boire de l'eau pour éliminer les résidus de sulfate de baryum du tractus gastro-intestinal et de se reposer davantage pour éliminer la fatigue.

La coloscopie offre une solution de rechange au lavement baryté, mais pour l'instant les clichés radiographiques à contraste obtenu par lavement baryté fournissent davantage de détails que la coloscopie, ce qui peut être appelé à changer au fur et mesure qu'évolueront la technologie et la formation.

Source : MediResource Clinical Team, « Barium Enema : Lower GI (gastrointestinal) Series - Lower GI Exam », MyFox Dallas, n.d. Consulté le 29 juillet 2008. <http://health.myfoxdfw.com/TestFactsheet.aspx?id=10&pg=1#S4>



**Figure 4-9**  
*Rayon X du côlon après instillation de baryum comme produit de contraste.*

## Le couteau gamma

Neurochirurgiens, radio-oncologues et physiciens médicaux font équipe pour procéder à une intervention connue sous le nom de chirurgie au couteau gamma. Au cours de cette intervention, la tête du patient est insérée dans un engin ayant presque la forme d'un casque appelé collimateur. Le collimateur permet de déterminer avec exactitude l'emplacement de la tumeur. L'appareil utilise jusqu'à 201 sources différentes de l'isotope cobalt-60 pour irradier la tumeur, l'inondant au moyen d'une seule dose élevée de rayonnement ionisant durant un court laps de temps. Généralement, en l'absence de complications, les patients ne passent qu'une seule journée à l'hôpital. Ils reprennent leurs activités normales deux ou trois jours après le traitement, pour lequel aucun vrai couteau n'est utilisé.

Les faisceaux individuels qui passent par chacun des orifices ne possèdent pas suffisamment d'énergie pour léser les tissus normaux. Cependant, lorsqu'ils se concentrent en un point focal (la tumeur), leur effet combiné est suffisamment puissant pour émettre une dose de rayonnement mortel sur les cellules cancéreuses.

Du point de vue de la radiothérapie, la chirurgie au couteau gamma présente des avantages par rapport à l'accélérateur linéaire (linac). Plutôt que d'administrer des doses de rayonnement inférieures fractionnées en de multiples visites (traitement fractionné), la chirurgie au couteau gamma permet d'administrer une seule dose en clinique externe au cours d'une seule visite d'une durée de 24 à 48 heures.

Le premier couteau gamma, inventé en Suède, fut installé dans un hôpital privé de Stockholm en 1968. Les États-Unis ont installé leur premier couteau gamma à Pittsburgh en 1987. Winnipeg a été la première ville canadienne à se doter d'un tel appareil et d'un programme de chirurgie au couteau gamma en 2003, suivie de la ville de Québec, en 2004, et de Toronto, en 2005. Cette technologie n'est utilisée que pour le traitement des tumeurs intracrâniennes.



**Figure 4-10**  
*La photo ci-dessus est celle d'un collimateur. Le collimateur a deux fonctions : maintenir en position la tête du patient et diriger les rayons gamma à travers les petits orifices pratiqués sur la surface de la demi-sphère.*

## Approfondissement des connaissances :

1. Parmi les types de radiothérapie abordés dans ce chapitre, lequel est le moins invasif? Lequel a le moins de répercussions sur la qualité de vie du patient immédiatement après le traitement?
2. Selon toi, pourquoi a-t-il fallu attendre plus de 30 ans après son invention pour voir le Canada acquérir la technologie du couteau gamma? Justifie ta réponse.
3. Quels types de traitement la station de traitement d'eau de ta ville utilise-t-elle pour garantir la qualité de l'eau potable? Ses méthodes ont-elles changé au fil du temps? Indique tes sources d'information.
4. Effectue une recherche sur le désastre de Three Mile Island survenu en Pennsylvanie en 1979. Examine les similarités et les différences par rapport au désastre de Tchernobyl, tant du point de vue des dommages à l'environnement que de la façon dont les instances gouvernementales ont pris en main les questions de santé publique après le désastre. Indique tes sources d'information.

## Choix de carrière

### Radio-oncologue

Le radio-oncologue travaille de concert avec les physiciens médicaux et les techniciens à l'élaboration de plans de radiothérapie pour les patients atteints de cancer. Après consultation du patient, ces spécialistes décident s'il y a lieu ou non de recourir à la radiothérapie, et, le cas échéant, du type de radiothérapie, de la partie du corps à irradier et de la durée du traitement. L'oncologue est formé au traitement du cancer et suit de près le patient tout au long du traitement et après celui-ci pour en évaluer le succès et les effets secondaires.

Sites Web liens carrière – Association des radio-oncologues du Québec : <http://www.aroq.ca/>

Association canadienne de radio-oncologie : <http://www.caro-acro.ca> (site anglais)

Avenir en santé : [http://avenirsante.com/fr/carrieres/technologue\\_en\\_radiooncologie/](http://avenirsante.com/fr/carrieres/technologue_en_radiooncologie/)

Association canadienne des technologues en radiation médicale : <http://www.camrt.ca>



Figure 4-12



Figure 4-13

## SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : la décision finale

Le plan de traitement convenu par Francine et son médecin en vue d'éliminer totalement la tumeur à la thyroïde combine la radiothérapie systémique et la téléthérapie. Le traitement de radiothérapie systémique consistait à ingérer des capsules d'iode radioactif, soit le même traitement efficace que celui administré à de nombreuses victimes du désastre de Tchernobyl survenu en Ukraine en 1986. Les capsules d'iode ont été ajoutées à son plan de traitement pour s'assurer de détruire toute cellule cancéreuse qui aurait résisté aux traitements de téléthérapie. Son séjour à l'hôpital a été de courte durée — deux semaines seulement — et les effets secondaires étaient gérables. Chacun des deux traitements de téléthérapie a été suivi d'un épisode de nausée et de faiblesse. Les capsules d'iode lui laissaient un goût étrange dans la bouche et lui coupaient l'appétit. Il lui arrivait même parfois d'avoir de la difficulté à garder les aliments dans son estomac. Elle a aussi remarqué qu'elle se fatiguait facilement. Comme son médecin l'avait informée de tous ces effets secondaires avant le début des traitements, elle s'y était pleinement préparée. Elle savait aussi qu'avec le temps ils s'atténueraient et disparaîtraient — soit au bout d'un mois environ.

## Révision du chapitre 4 : concepts et termes

**Concepts** Nous avons commencé ce chapitre par un résumé de l'histoire de la radiothérapie depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle. Nous avons ensuite décrit la thérapie radioisotopique comme une méthode de traitement externe utilisant un isotope comme source radioactive pour le traitement des cellules cancéreuses. Ce traitement a pour effet de ralentir la reproduction de ces cellules ou de les détruire purement et simplement.

La curiethérapie est une méthode de traitement interne conçue pour administrer une dose de rayonnement concentrée sur une tumeur, ou à proximité d'une tumeur, durant un court laps de temps. En général, pour la curiethérapie, l'anesthésie est requise pour procéder à l'insertion des implants radioactifs.

La radiothérapie systémique consiste en l'ingestion d'une source radioactive qui s'accumule dans les cellules cancéreuses et qui les tue. Jusqu'à ce que l'organisme du patient ait éliminé la source radioactive de haute intensité, le patient doit demeurer isolé dans une chambre d'hôpital.

La téléthérapie se pratique au moyen d'un appareil servant à diriger le faisceau de rayonnements sur la région atteinte par le cancer et sur les tissus environnants. Bien que la chirurgie ne soit pas nécessaire, on combine parfois la téléthérapie à d'autres formes de traitement comme la curiethérapie.

La chirurgie au couteau gamma utilise un rayonnement ionisant d'une extrême précision, généralement celui produit par le cobalt-60, pour inonder la tumeur au moyen d'une seule dose de rayonnements intense durant un court laps de temps. Ce type de traitement est administré en une seule dose et en une seule visite, alors que la téléthérapie peut exiger de multiples visites et de multiples doses.

Termes	
anesthésie	radiothérapie de conformation avec modulation d'intensité de dose
lavement baryté	intracrânien
biopsie	accélérateur linéaire (linac)
curiethérapie	neurochirurgien
cobalt	thérapie photodynamique
collimateur	radio-oncologue
coloscopie	radio-isotope
œsophage	radium
traitement fractionné	radiothérapie systémique
couteau gamma	téléthérapie





L'image en l'occurrence ici est une « murale » dans l'enceinte d'une école à Pripyat en Ukraine. La photo était prise en 2003 par David McMillan, un professeur des beaux-arts à Winnipeg, qui aime documenter le « retour à la nature » de l'univers construit par l'humain à l'intérieur et autour de la centrale nucléaire de Tchernobyl. La zone dite d'exclusion de 30 km autour de la cité des sciences de Pripyat est encore radioactive et ne pourra pas être habitable dans un avenir prévisible. C'est une bonne occasion d'évaluer les avantages et les risques d'exploiter une centrale nucléaire sans les mesures de protection nécessaires contre les rejets d'isotopes radioactifs. Vous pouvez trouver bon nombre d'autres images et de commentaires sur Internet à l'adresse suivante :

[home.cc.umanitoba.ca/~dmcmill/index.html](http://home.cc.umanitoba.ca/~dmcmill/index.html).

# chapitre 5

## Radioactivité

### SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : la vie après le cancer

Six mois après la fin de son plan de traitement, Francine est retournée voir son médecin pour un autre IRM. L'examen a montré que la tumeur a été complètement éliminée. Son médecin lui a dit qu'elle devrait revenir le voir dans un an pour s'assurer que la tumeur ne soit pas réapparue entre temps. L'état de sa thyroïde continuerait de faire l'objet d'un suivi dans le cadre d'examen périodiques par imagerie ultrasonore au cours des cinq prochaines années, parallèlement à son examen médical annuel. Comme le cancer n'a pas métastasé, Francine a de très fortes chances de ne pas le voir réapparaître.



Figure 5-1

### Historique de la radioactivité

Alors que Roentgen était occupé à annoncer la découverte des rayons X, en 1896 le scientifique français Henri Becquerel étudiait la propriété fluorescente des substances. La fluorescence est la propriété physique d'une substance en vertu de laquelle elle émet une lueur vive en présence de la lumière. Becquerel étudia les degrés de fluorescence en plaçant les substances sur des plaques photographiques et en enregistrant le phénomène. Lors d'une journée particulièrement nuageuse, il enveloppa soigneusement les plaques photographiques et les déposa dans un tiroir avec la substance qu'il étudiait à ce moment, soit un composé renfermant de l'oxyde d'uranium.

Par la suite, Becquerel souhaita utiliser les plaques pour approfondir ses recherches sur la fluorescence. Il découvrit cependant que celles qu'il avait déposées dans le tiroir avec le composé d'uranium étaient voilées, comme si elles avaient été exposées à la lumière du soleil. Comme cela était impossible, car il les avait trop soigneusement enveloppées pour que cela puisse se produire, il conclut que le composé d'uranium émettait une certaine forme de rayonnement invisible. Il s'agissait là de la première découverte du rayonnement naturel dont il est fait mention dans l'histoire. Ce n'est que deux ans plus tard que Marie et Pierre Curie faisaient état d'observations similaires faites au moyen de l'élément radium. Dès lors, l'ensemble du milieu scientifique international s'intéressa au phénomène de la radioactivité.

Les Curie, qui étaient des scientifiques polonais, étudiaient le rayonnement naturel émis par des composés d'uranium. Ils croyaient qu'il existait d'autres éléments radioactifs. Ce sont leurs expériences qui ont conduit à la découverte du radium et du polonium. Ces deux éléments sont plus radioactifs que l'uranium.

Le radium a été utilisé comme source naturelle de rayonnement gamma jusque tard dans les années 1950. Au milieu des années 1940, des sources synthétiques de rayonnement gamma ont commencé à le remplacer. Ces substances synthétiques — le cobalt et l'iridium — étaient moins coûteuses à obtenir.

Les premières études de la radioactivité ont été responsables de nombreuses maladies associées aux travaux en laboratoire, dont la perte de membres et la mort. Les chercheurs ont consigné avec zèle les effets du rayonnement sur les tissus vivants à leurs propres dépens. C'est grâce à de telles incursions dans l'univers de la radioactivité et du rayonnement qu'a pu émerger le domaine de la physique médicale — domaine qui a favorisé l'étude du rayonnement, de la radioactivité et de leurs effets ainsi que l'adoption de consignes de sécurité pour la manutention et le stockage des substances radioactives et ionisantes et pour la conduite des expériences.



Figure 5-2

## Le lien avec le cancer

### Le radium... la panacée?

Au 20<sup>e</sup> siècle, après sa découverte, le radium a commencé à faire l'objet d'études approfondies. De nombreux scientifiques croyaient que ses propriétés radioactives pourraient aider à guérir de nombreuses affections — maux de dents, arthrite, symptômes prémenstruels, maux d'estomac, hypertension artérielle, goitre, cancer, etc., le radium pouvait tout guérir. Bientôt, dans les hôpitaux, les médecins recommandaient aux patients de boire de l'eau à laquelle on avait ajouté du radium. D'autres patients se voyaient prescrire des frictions au radium, qui consistaient littéralement à frotter du radium sur une plaie ou une région douloureuse du corps. Le Dr John Harvey Kellogg, fondateur de la compagnie de céréales Kellogg, ouvrit un établissement de cure où les patients pouvaient venir passer la journée et bénéficier de traitements au radium incluant des bains de boue aux minerais de radium, l'inhalation de vapeur radioactive et, pour terminer, un verre d'eau radioactive rafraîchissant.



Figure 5-3

Les entreprises désireuses de profiter du fol engouement pour les vertus curatives universelles du radium commencèrent à vendre des produits comme le **Radithor**, de l'« eau certifiée radioactive » commercialisée comme panacée aussi efficace, mais moins coûteuse, que les traitements en établissement de cure. Henry Cosmos inventa le **Cosmos Bag**, un sac de tissu rempli de poussière de minerai de radium. Les chefs de ménage pouvaient se l'enrouler autour du bras, de la jambe ou du cou pour apaiser la douleur et se débarrasser de l'arthrite.

Pour d'autres exemples de cures « au radium », consultez le Web aux adresses suivantes :

Les années folles du radium : [www.curie.fr/home/press/jic\\_article.cfm/lang/fr/jic\\_article/265.htm](http://www.curie.fr/home/press/jic_article.cfm/lang/fr/jic_article/265.htm)  
[www.orau.org/ptpl/collection/quackcures/quackcures.htm](http://www.orau.org/ptpl/collection/quackcures/quackcures.htm) (site anglais)

## Modèle nucléaire de l'atome

Toutes les substances sont composées d'atomes, l'unité fondamentale de la théorie corpusculaire. D'après le modèle nucléaire, un atome est formé d'un noyau entouré d'électrons. Le noyau renferme des particules subatomiques appelées nucléons. Les protons et les neutrons sont considérés comme des nucléons car ils se trouvent dans le noyau. **Les électrons** sont de charge négative; **les protons** sont de charge positive; **les neutrons** sont électriquement neutres et n'ont donc pas de charge.

**L'interaction nucléaire forte**, l'une des quatre forces fondamentales de la physique, maintient la cohésion du noyau — elle doit être forte pour retenir les protons et les neutrons dans un espace incroyablement petit. C'est la **force électromagnétique**, une autre des quatre forces fondamentales, qui maintient ensemble les atomes et qui retient les électrons en orbite autour du noyau. La force électromagnétique se manifeste par l'entremise des forces entre les charges (comme celles entre les protons et les électrons). C'est elle qui détermine la structure atomique et moléculaire — les trois autres forces fondamentales ont une incidence négligeable sur la structure.

Les atomes sont électriquement neutres car ils renferment le même nombre de protons et d'électrons. L'atome qui gagne ou perd des électrons, et qui acquiert de ce fait une charge négative ou positive, n'est plus un atome mais un **ion**.

Les atomes d'un même élément possèdent le même nombre de protons et d'électrons, mais peuvent avoir un nombre différent de neutrons dans leur noyau. Les variantes des atomes d'un même élément qui se distinguent par leur nombre de neutrons sont appelées des **isotopes**. Les isotopes d'un élément ont le même numéro atomique que l'élément. Le **numéro atomique** d'un élément correspond au nombre de protons que possède un atome de cet élément. Par exemple, le carbone possède un numéro atomique de six. Les isotopes d'un élément ont des **nombres de masse** différents. Le nombre de masse d'un élément correspond au nombre total de nucléons d'un atome de cet élément.

En général, l'un des isotopes d'un élément donné est plus stable que les autres isotopes de ce même élément. Un isotope instable peut subir une désintégration radioactive et émettre une particule alpha ou bêta (voir le chapitre 1) et retrouver ainsi une certaine stabilité. Un isotope peut aussi acquérir davantage de stabilité en émettant de l'énergie sous forme de rayonnement gamma.

Le **carbone** possède trois isotopes naturels : carbone 12, carbone 13 et carbone-14. Le <sup>12</sup>C et le <sup>13</sup>C sont stables. Le <sup>14</sup>C est l'isotope du carbone utilisé pour la datation au radiocarbone.

L'**uranium** existe sous trois formes dans la nature : uranium-238 (presque 99 % de tout l'uranium existant), uranium-235 (presque 1 % de tout l'uranium existant) et uranium 234.

Le **cobalt** existe à l'état naturel sous forme de cobalt-59 comme nous l'avons mentionné dans un chapitre précédent. Cependant, l'un des 22 isotopes radioactifs et plus du cobalt est devenu largement utilisé en radiothérapie. Il s'agit du cobalt-60. Cet isotope est produit synthétiquement au Canada dans des réacteurs avec l'autorisation d'Énergie atomique du Canada limitée.

Le **molybdène** compte sept isotopes naturels dont les nombres de masse sont de 92, 94, 95, 96, 97, 98 et 100. Le molybdène 99 (<sup>99</sup>Mo) est produit synthétiquement et joue un rôle essentiel dans la production d'isotopes radioactifs à des fins médicales.

## Vérifie tes connaissances

*Les aliments irradiés ou chauffés au four micro-ondes sont-ils radioactifs?*

**Origine de la croyance :** La cause la plus probable de telles préoccupations provient du mauvais usage du four à micro-ondes. Le premier four du genre a été commercialisé en 1947 aux États-Unis par la Raytheon Company. Il avait 1,7 mètre de hauteur, pesait plus de 340 kilos et se détaillait à environ 5 000 \$. L'arrivée de la technologie informatique a permis d'améliorer grandement le concept du four à micro-ondes, et la plupart des ménages en possèdent maintenant au moins un. Il existe aussi une certaine confusion entre aliments cuits ou chauffés au four à micro-ondes et aliments irradiés.

**Les faits :** Les fours à micro-ondes n'utilisent pas le rayonnement ionisant pour chauffer les aliments. Cependant, ce type de rayonnement est utilisé pour irradier les aliments — et ce afin de tuer tout organisme nuisible et de prévenir toute altération due à la croissance de bactéries ou de flores microscopiques. Selon Santé Canada, les aliments irradiés NE deviennent PAS radioactifs et il n'existe aucune preuve scientifique à l'effet que l'irradiation entraînerait des modifications chimiques nocives. Bien que la plupart des gens songent peut-être au four à micro-ondes lorsqu'on les questionne au sujet de l'irradiation des aliments, en fait des aliments présents de nos jours sur le marché sont irradiés avant d'atterrir sur les étagères des magasins, et ce afin de tuer des bactéries susceptibles de causer des maladies ou la mort.



Figure 5-4

## Enquête :

Examine le phénomène de la diffusion sur YouTube en juin 2008 de vidéos sur « les fours à micro-ondes, les téléphones cellulaires et le maïs soufflé » tentant de démontrer qu'il est possible, au moyen d'un téléphone cellulaire, de transformer en maïs soufflé des grains de maïs crus.

1. Quel canular cachent ces vidéos? (Comment y fait-on réellement éclater le maïs?)
2. Existe-t-il un motif poussant à présenter ces vidéos sur YouTube?

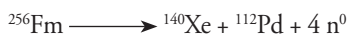


Figure 5-5

## Désintégration radioactive

La désintégration radioactive est un phénomène naturel. Il existe trois types courants de désintégration radioactive par lesquels un isotope subit une désintégration spontanée, soit la désintégration alpha, la désintégration bêta et la fission spontanée. Au cours de ces processus, il peut se produire quatre types de rayonnements radioactifs : rayonnement alpha, rayonnement bêta, rayonnement gamma et rayonnement neutronique.

Lorsque la désintégration radioactive survient par **fission spontanée**, l'atome initial se scinde pour former deux ou plusieurs atomes ou noyaux engendrés de plus petite taille. Le phénomène implique l'émission de neutrons additionnels, ou rayons neutroniques. Le fermium-256 subit généralement une fission spontanée et peut former deux noyaux engendrés. Nous pouvons illustrer le phénomène au moyen de l'équation chimique suivante :



Il y a donc production de xénon, de palladium et de quatre neutrons additionnels. La fission s'accompagne parfois de l'émission de rayons gamma, ce qui a pour effet d'accroître la stabilité énergétique des deux noyaux engendrés.

La **désintégration alpha** d'un atome s'accompagne d'une modification chimique : il y a alors formation d'un noyau engendré et émission d'un **rayon alpha** (particule alpha ou atome d'hélium). C'est ce qui se produit avec l'uranium-238 :



Il existe trois formes de **désintégration bêta** : par émission d'une particule bêta moins, par émission d'une particule bêta plus, ou par absorption par un noyau instable d'un électron d'une orbite interne et par sa transformation en neutron.

Dans la **première forme** de désintégration bêta, il arrive qu'en raison d'un nombre excessif de neutrons, des atomes instables acquièrent davantage de stabilité par la transformation d'un neutron en proton. Le processus implique l'émission d'un électron, ou **particule bêta moins** (rayon bêta). Il est tout à fait logique d'affirmer que si le processus survient à l'intérieur du noyau, l'électron créé au cours du processus ne peut demeurer dans le noyau et s'en trouve donc éjecté. L'iode-131 subit ce type de désintégration bêta :



Observe que dans ce type de désintégration bêta, le nombre de masse demeure le même. Par contre, le numéro atomique augmente de un.

La **deuxième forme** de désintégration bêta survient lorsque des atomes instables possèdent un nombre excessif de protons pour la taille du noyau. Pour acquérir davantage de stabilité, le noyau peut transformer un proton en neutron et, au cours du processus, émettre un **positron**, ou **particule bêta-plus** (rayon bêta). Rappelle-toi qu'un positron est comme un électron, mais qu'il possède une charge positive. Le sodium 22 nous offre un exemple de ce type de désintégration radioactive :



Dans ce type de désintégration bêta, le nombre de masse demeure le même, mais le numéro atomique diminue de un.

La **troisième forme** de désintégration bêta survient lorsque des atomes instables acquièrent davantage de stabilité énergétique en attirant un électron des couches internes dans le noyau, où il se combine à un proton pour former un neutron. (Voir la section « Dans les médias » du présent chapitre pour une explication du phénomène.) Le fer 55 subit ce type de désintégration :



Ici aussi, le nombre de masse demeure le même, mais le numéro atomique diminue de un.

## Questions :

- ① Si le  $^{14}\text{C}$  émettait une particule alpha, quel serait le noyau engendré? Écris l'équation chimique.
- ② Si le  $^{14}\text{C}$  émettait un positron, quelle serait l'équation chimique du processus?
- ③ Si le  $^{14}\text{C}$  émettait une particule bêta moins, quelle serait l'équation chimique du processus? Pourquoi le  $^{14}\text{C}$  émettrait-il une particule bêta plutôt qu'une particule alpha ou des rayons gamma?

## Dans les médias

### Quarks et désintégration radioactive

De découverte relativement récente, les quarks viennent s'ajouter au modèle nucléaire de l'atome. Bien que nombre de nos résultats expérimentaux soient explicables au moyen des trois particules subatomiques fondamentales (protons, neutrons et électrons), il nous est impossible d'expliquer la désintégration bêta sans aborder la question des quarks.

Alors que les chercheurs étudiaient la désintégration bêta, ils ont découvert l'interaction nucléaire faible. Cette force, l'une des quatre forces fondamentales, modifie la saveur (ou type) des quarks. Les protons et les neutrons sont tous deux constitués de trois quarks. Une autre particule subatomique — le gluon — assure la liaison entre ces quarks. Au cours de la désintégration bêta, la faible force d'interaction brise les gluons et modifie la saveur d'un quark d'un proton de sorte que ce dernier se transforme en neutron, ou vice versa. Les chercheurs continuent de parfaire le modèle nucléaire de l'atome en y intégrant de plus en plus de particules subatomiques — plus de 200 en fait!

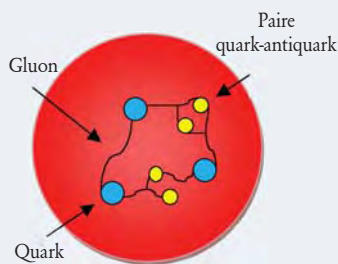


Figure 5-6

## Période radioactive

Il est difficile de prédire à quel moment un atome radioactif se désintégrera. Il est toutefois possible d'examiner la durée nécessaire pour que la moitié du nombre total d'atomes d'un échantillon d'isotope radioactif se désintègre. Cette durée s'appelle la période radioactive ou la période  $T_{1/2}$  de l'isotope. La période radioactive du carbone-14 est d'environ 5 730 jours; celle de l'uranium-238, d'environ  $4,47 \times 10^9$  ans. La période radioactive du radium 226 est de 1 600 ans.

L'activité d'un échantillon radioactif correspond au nombre de désintégrations par seconde de cet échantillon. Si l'échantillon compte au départ un nombre  $N$  d'atomes radioactifs, alors, avec le temps, ce nombre diminue. Pour calculer la valeur de l'activité, il nous faut diviser le nombre d'atomes radioactifs, soit  $\Delta N$ , par le temps qu'il a fallu pour aboutir à un tel nombre, soit  $\Delta t$ . Le nombre de désintégrations par seconde observées dans tout échantillon est proportionnel au nombre initial de noyaux radioactifs présents; ainsi, nous obtenons :

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

où  $\lambda$  est une constante de proportionnalité appelée constante de désintégration.

Comme le nombre d'atomes radioactifs présents à tout moment décroît exponentiellement, nous pouvons aussi poser une équation qui représente le nombre de noyaux radioactifs,  $N$ , présents à tout moment  $t$ , à supposer que nous connaissions le nombre initial de noyaux radioactifs, soit  $N_0$  :

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

À l'inverse, nous pouvons établir un lien entre la période  $T_{1/2}$  et la constante de désintégration  $\lambda$  (moyennant la substitution d'une équation à une autre et l'utilisation de logarithmes naturels) au moyen de l'équation suivante :

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

## activité—la période radioactive des pièces d'un cent

Avec tes camarades de classe, procure-toi environ 200 pièces d'un cent (ou plus) que vous partagerez ensuite. Au départ, chaque pièce représente un noyau instable. Chacun d'entre vous place ses pièces dans un gobelet, agite le gobelet puis le retourne. Toutes les pièces qui tombent du côté face représentent un noyau désintégré (et que vous présumerez maintenant stable), et toutes celles qui tombent du côté pile représentent un noyau non encore désintégré - et donc instable. Comptez le nombre total de pièces tombées du côté pile - c.-à-d. les noyaux instables - et remettez-les dans les gobelets. Placez un morceau de ruban sur chacune des pièces tombées du côté face. Ces pièces sont « désintégrées », mais elles font encore partie de la masse totale et doivent être remplacées dans les gobelets. Répétez l'opération à plusieurs reprises jusqu'à ce que le nombre de « noyaux instables » soit inférieur à 20.

Illustrez les résultats sur un graphique avec en ordonnée le nombre de noyaux instables et en abscisse le numéro du coup de pile ou face. Du point de vue statistique, nous pouvons nous attendre à ce qu'environ la moitié des pièces « se désintègrent » à chaque coup. La « période radioactive » des pièces correspond à la durée nécessaire pour effectuer le jeu décrit ci-dessus.

Rédige un rapport de laboratoire. Indique dans ton rapport le type de consignes de sécurité qu'il faudrait suivre si les pièces étaient réellement radioactives.

Source : Don Metz, PhD. **Physique 12<sup>e</sup> année (40S)** : document de mise en œuvre. Éducation, Citoyenneté et Jeunesse Manitoba, 2005.



Figure 5-7

## Savais-tu que...

### Compteurs Geiger et détection de la désintégration

Le compteur Geiger a été nommé d'après Hans Geiger, qui a mis le premier appareil au point en 1908 avec l'aide d'Ernest Rutherford. Le compteur Geiger est un appareil utilisé pour détecter les rayonnements alpha, bêta et gamma. Il est rarement utilisé pour détecter les rayons neutroniques. La détection des particules alpha requiert habituellement l'usage d'un tube Geiger spécial.

L'appareil est doté d'un capteur de forme tubulaire rempli d'un gaz rare comme l'hélium ou le néon. Activé par une particule chargée (alpha, bêta ou gamma), le gaz devient temporairement conducteur. La conductivité est amplifiée sous forme d'impulsion électrique qu'affiche un cadran à aiguille aux fins de mesure et elle produit un clic audible. Plus le nombre de clics et leur fréquence sont élevés, plus l'objet testé émet de rayonnement.

Environ 20 ans après la mise au point de l'appareil avec Rutherford, Geiger s'est associé à l'un de ses étudiants au doctorat, Walther Muller, en vue de le perfectionner. C'est pourquoi l'appareil porte aussi le nom de compteur de Geiger-Müller.



Figure 5-8

### Exercices de calcul :

- 1 En 16 jours, le nombre de noyaux radioactifs d'une substance donnée passe au huitième du nombre initial. Quelle est la période radioactive (en jours) de cette mystérieuse substance?
- 2 Le cancer de la thyroïde de Francine a été traité avec un isotope de l'iode, soit  $^{131}\text{I}$ . Si la période radioactive de cet isotope est de 8,05 jours, quel pourcentage de la substance radioactive contenue dans le comprimé sera encore présent après un mois (30 jours)?
- 3 Pour que le cadran des fameuses montres des années 1950 puisse luire dans l'obscurité, on utilisait une peinture à base de radium 226. À supposer que la masse de la peinture utilisée pour une montre ait été de un milliardième de kilogramme, combien de radium, en kilogramme, aura disparu après 50 années d'utilisation de la montre? (Suppose que la période radioactive du radium soit de 1 600 ans.)
- 4 Des chercheurs étudient les substances radioactive Q et X, dont la quantité est identique au début de l'expérience. Trois jours plus tard, il subsiste trois fois plus d'atomes de la substance Q que d'atomes de la substance X. Si la période radioactive des atomes de la substance Q est de 2,0 jours, trouve la période radioactive des atomes de la substance X.
- 5 Le nombre d'atomes radioactifs présents au début d'une expérience est de  $5,0 \times 10^{12}$ . Après 30 jours, ce nombre est passé à  $8,2 \times 10^{11}$ . Quelle est la période radioactive (en jours) de la substance?

## Unités de mesure

Tout comme il existe des unités de mesure pour l'exposition au rayonnement, pour la dose absorbée, et pour la dose biologique équivalente, il existe aussi des unités de mesure pour la radioactivité. L'unité du SI utilisée pour mesurer l'activité nucléaire a été nommée en hommage au scientifique qui a étudié le phénomène, Henry Becquerel. L'unité de mesure est donc le **Becquerel (Bq)**. Un Becquerel correspond à une désintégration radioactive par seconde. (Soulignons que le compteur Geiger enregistre le nombre d'occurrences par minute; cela ne donne toutefois qu'une indication sur le nombre de particules qui atteignent le détecteur et ne renseigne aucunement sur le comportement de la substance radioactive.)

Tandis que Becquerel étudiait la radioactivité, les Curie en faisaient tout autant. Il existait donc une autre unité de mesure (non acceptée dans le SI), soit le Curie (Ci). Un Curie correspondait au nombre de particules d'un gramme de radium qui se désintègrent en une seconde. Pour convertir les Curies en Becquerels, on utilisait la formule d'équivalence que voici :

$$1 \text{ Curie} = 37\,000\,000\,000 \text{ Becquerels}$$

ou  $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$

## Révision des unités de mesure du SI utilisées pour le rayonnement et la radioactivité Quelles étaient-elles déjà?

Exposition au rayonnement (aux ions produits dans l'air) : mesurée en *coulombs par kg (C/kg)*

Dose de rayonnement absorbée : mesurée en *grays (Gy)*

Dose biologique équivalente de rayonnement (compte tenu de la capacité d'absorption différente des différents tissus et organes) : mesurée en *Sieverts (Sv)*

Radioactivité (nombre de désintégrations par seconde) : mesurée en *Becquerels (Bq)*

## Unités de mesure... une autre approche

(Rappelle-toi la rubrique que nous avons commencée au chapitre 3)

Imagine que tu sois dehors sous la pluie. Si nous pouvions nous servir des unités du SI utilisées pour le rayonnement et la radioactivité et les associer d'une manière quelconque au phénomène de la pluie, alors :

- le nombre de particules de poussière qui deviennent des gouttes de pluie serait comparable à l'exposition, et se mesurerait en coulombs par kg;
- la quantité de pluie qui tombe serait semblable à la radioactivité et se mesurerait en Becquerels;
- la quantité de gouttes de pluie qui te toucheraient serait semblable à la dose absorbée, et se mesurerait en grays;
- toute l'eau qui s'accumulerait sur toi équivaldrait à la dose biologique équivalente et se mesurerait en Sieverts.



## activité–radioactivité des objets de la maison

Pour cette activité, tu devras demander à ton professeur de te procurer un compteur Geiger et tu devras te procurer tous les articles d'usage courant que voici, si possible : une montre des années 1950, un morceau de vaisselle de marque Fiestaware®, un détecteur de fumée, un morceau de papier, un morceau de plastique, un morceau de plomb, du chlorure de potassium (KCl) (vendu en magasin sous l'appellation « Pas de sel »), et du papier d'aluminium. Tu auras peut-être besoin d'un casque d'écoute ou d'un haut-parleur pour pouvoir entendre les clics du compteur Geiger pour certains de ces objets — surtout pour le chlorure de potassium.

### Marche à suivre:

1. Détermine quels sont les articles radioactifs à une distance de 5 cm du compteur Geiger — pour chacun d'eux, note la lecture de radioactivité donnée par le compteur Geiger.
2. Détermine quels articles — papier, plastique ou plomb — bloquent le rayonnement lorsqu'ils sont placés entre le lecteur Geiger et la substance radioactive, et dans quelle mesure ils le bloquent. Comment cela te renseigne-t-il sur le type de rayonnement émis — alpha, bêta ou gamma?
3. Choisis un objet radioactif et, avec le compteur Geiger, mesure le degré de rayonnement à des distances de 2, 4, 6, 8 et 10 cm de l'objet. Comment la distance influence-t-elle sur le rayonnement?
4. Cette dernière étape t'a permis de mesurer l'atténuation du rayonnement bêta de l'isotope potassium 40 présent dans le KCl (composé à 0,7 % de potassium 40, et à 99,3 % de potassium 39). Place une couche de papier d'aluminium sur une petite quantité de KCl. Place le compteur Geiger à proximité de la feuille pour mesurer la désintégration bêta. Place une seconde feuille d'aluminium sur la première et mesure de nouveau la désintégration bêta. Quelle épaisseur d'aluminium permet de réduire la lecture de la désintégration bêta à la moitié de sa valeur initiale? Quelle épaisseur en empêche totalement la lecture?

### ESTIMATION DES NIVEAUX DE RAYONNEMENT (naturel et synthétique)

Niveau (mSv)	Durée	Description
0,001-0,01	Horaire	Dose de rayonnement cosmique à bord de vols de haute altitude (dépend de la position et de la phase d'activité des taches solaires).
0,219	Annuel	Rayonnement ionisant naturel, incluant le radon, à Winnipeg, au Manitoba.
0,46	Aigu	Dose hors site la plus élevée possible, selon les estimations, en rapport avec l'accident de Three Mile Island du 28 mars 1979.
1,4	Annuel	Rayonnement ionisant naturel, incluant le radon, au Nunavut.
2	Annuel	Dose de rayonnement médical et rayonnement ionisant naturel moyens (États-Unis).
2,2	Aigu	Dose moyenne associée à une série d'examens radiologiques (rayons X) de la partie supérieure du tractus gastro-intestinal.
6,4	Annuel	Région à rayonnement naturel élevé de Yangjiang, en Chine
7,6	Annuel	Source de rayonnement naturel de Fountainhead Rock Place à Santa Fe, au Nouveau-Mexique.
175	Annuel	Sources de rayonnement naturel de Guarapari, au Brésil.
500-1000	Aigu	Maladie due à une exposition à court terme à un faible niveau de rayonnement.
500-1000	Détonation	Victimes des bombardements nucléaires de la deuxième Guerre mondiale.

## Choix de carrière

### *Physicien médical*

Anita Berndt et Daniel Rickey sont des physiciens médicaux au service d'ActionCancer Manitoba. Ces deux professionnels de la santé sont titulaires d'un diplôme d'études supérieures (Ph.D.) dans le domaine des applications médicales de la physique et sont certifiés auprès du Collège canadien des physiciens en médecine (CCPM). Leur travail a trait à l'utilisation de radio-isotopes, de rayons X, d'ultrasons et de champs magnétiques et électriques aux fins de diagnostic et de thérapie. Anita travaille en radiothérapie; elle utilise le rayonnement de haute énergie pour le traitement du cancer. Elle doit notamment planifier les traitements, tester et étalonner les appareils de radiothérapie et en diagnostiquer les pannes. Daniel se spécialise dans l'imagerie diagnostique par rayons X, ultrason, résonnance magnétique et médecine nucléaire. Il est notamment responsable de l'achat des appareils, de leur installation, de leur mise à l'essai, de leur fonctionnement et du contrôle de la qualité. Anita et Daniel occupent tous deux un poste à l'Université du Manitoba et participent donc à la recherche et à l'enseignement.

Sites Web liens carrière–Groupe de recherche en physique médicale : <http://physmed.fsg.ulaval.ca/>

Unité de physique médicale : <http://www.medphys.mcgill.ca/introFR/mainintroFR.html>

Avenir en santé : [www.avenirsante.com/index.php?id=69,75,0,0,1,0](http://www.avenirsante.com/index.php?id=69,75,0,0,1,0)

Organisation internationale de physique médicale : <http://www.iomp.org/> (site anglais)



**Figure 5-9**  
*Les physiciens médicaux manitobains Anita Berndt et Daniel Rickey posant devant le couteau gamma du Centre de sciences de la santé de Winnipeg.*

## Révision du chapitre 5 : concepts et termes

**Contenu :** Entre la fin du 19<sup>e</sup> siècle et le début du 20<sup>e</sup> siècle, Henri Becquerel fut le premier scientifique à observer le rayonnement naturel d'une source d'uranium. Les Curie ont fait état d'observations similaires avec le radium et le polonium. Au milieu des années 1940, il était facile et peu coûteux de produire synthétiquement le cobalt et l'iridium, qui devinrent les principales sources de rayons gamma.

Selon le modèle nucléaire, l'atome se compose d'un noyau, qui renferme les particules subatomiques appelées les nucléons, autour duquel gravitent les électrons. L'interaction nucléaire forte maintient la cohésion du noyau. La force électromagnétique maintient les électrons à proximité du noyau. Les variantes des atomes d'un même élément qui se distinguent par leur nombre de neutrons sont appelées des isotopes. Les isotopes d'un élément ont le même numéro atomique mais diffèrent par leur nombre de masse. Un isotope instable peut acquérir davantage de stabilité en émettant de l'énergie sous forme de rayons gamma.

La désintégration radioactive se produit naturellement par l'émission de particules alpha ou bêta, de rayons gamma ou de rayons neutroniques. Lorsqu'elle survient par fission spontanée, l'atome initial se scinde en deux ou plusieurs noyaux engendrés (atomes de plus petite taille que l'atome initial). La désintégration alpha entraîne une modification chimique et la création d'un noyau engendré à partir de l'atome initial.

Il existe trois formes de désintégration bêta. Dans la première forme, il arrive que des atomes instables en raison d'un nombre excessif de neutrons acquièrent davantage de stabilité par la transformation d'un neutron en proton et par l'émission d'un électron. Dans la deuxième forme, des atomes instables possédant un nombre excessif de protons dans le noyau peuvent transformer un proton en neutron et émettre un positron au cours du processus. Dans la troisième forme, des atomes instables acquièrent davantage de stabilité énergétique en attirant un électron dans le noyau, où il se combine à un proton pour former un neutron.

La période radioactive d'un isotope est la durée nécessaire pour que la moitié du nombre total d'atomes d'un échantillon d'isotope radioactif se désintègre. L'activité de l'échantillon radioactif correspond au nombre de désintégrations par seconde.

Termes	
activité	compteur Geiger-Muller
Becquerel (Bq)	gluon
particule bêta moins	période radioactive
particule bêta plus	Henri Becquerel
Curie (Ci)	nombre de masse
noyau engendré	neutron
constante de désintégration	rayon neutronique
force électromagnétique	nucléon
fission	quark
fluorescence	fission spontanée
force fondamentale	interaction nucléaire forte
compteur Geiger	interaction nucléaire faible

# chapitre 6

## Autres applications du rayonnement

### SUITE DE L'ÉTUDE DE CAS : le verdict final

Francine a continué de rendre visite à son médecin pour son examen physique annuel. Cinq ans après sa radiothérapie, le cancer n'était toujours pas revenu. Le médecin l'a félicitée et lui a dit qu'elle pouvait espérer une longue vie épanouissante. Tout au long du traitement, son médecin l'a encouragée à poursuivre les cérémonies de guérison héritées de son patrimoine culturel autochtone. Un tel encouragement, plus le soutien de sa famille et des membres de sa communauté, l'ont aidée à traverser les hauts et les bas émotionnels qui ont jalonné les diverses étapes du diagnostic, du traitement et du rétablissement. Elle peut maintenant affirmer avec une certaine assurance qu'elle a vaincu le cancer.



Figure 6-1



Figure 6-2

### Applications du rayonnement ionisant : la stérilisation

Les rayons gamma servent souvent à stériliser l'équipement médical jetable comme les aiguilles, le nécessaire à perfusion et les seringues. En général, le cobalt-60 est le radio-isotope de choix car il émet en permanence des rayons gamma. Son entreposage dans un établissement médical exige de tenir compte des risques pour la santé humaine, car cet isotope émet des rayons gamma d'un niveau énergétique extrêmement élevé.

Les faisceaux d'électrons servent aussi à stériliser l'équipement médical. L'avantage qu'ils présentent par rapport au rayonnement gamma est qu'on peut les activer et les désactiver à volonté, alors que le rayonnement gamma est permanent. En outre, les faisceaux d'électrons permettent d'utiliser des doses supérieures et donc de réduire le temps d'exposition requis pour la stérilisation de l'équipement. Cela peut contribuer à prévenir la dégradation des plastiques pouvant être soumis à ce type de stérilisation (plus la durée d'exposition au rayonnement est grande, plus le risque de rupture des polymères est grand). L'un des désavantages de la technologie utilisant les faisceaux d'électrons est que ces derniers ne pénètrent pas aussi profondément que les rayons gamma.

Bien qu'il ne s'agisse pas d'un rayonnement ionisant et que son utilisation aux fins de stérilisation soit limitée, le rayonnement ultraviolet est souvent utilisé sous forme de **lampes germicides**. Ces lampes servent à stériliser les surfaces et certains objets transparents, y compris l'intérieur des enceintes de sécurité biologique. Le rayonnement ultraviolet ne permet toutefois pas de stériliser les surfaces sales. Par ailleurs, il peut endommager de nombreuses surfaces en plastique, y compris la mousse de polystyrène (utilisée comme isolant dans les maisons).

Le Service postal des États-Unis utilise le rayonnement pour stériliser le courrier destiné au district fédéral de Columbia. De nos jours, l'irradiation des aliments est largement utilisée pour certaines épices et pour la viande hachée afin de prévenir les maladies.

## Savais-tu que...

*L'intrigue de Litvinenko, du thallium et de l'usage de produits radioactifs par la Russie*

En novembre 2006, l'intérêt du public pour les questions d'espionnage se ravivait alors que les feux de l'actualité internationale se braquaient sur la Russie du fait du prétendu empoisonnement de l'ancien agent du KGB Alexander Litvinenko par un autre ancien agent du KGB. Le KGB était l'« agence d'espionnage » de l'ex-Union soviétique.

Litvinenko, un auteur connu qui avait souvent critiqué le président russe Vladimir Putin, a eu un bref entretien avec Andrei Lugovoy dans un restaurant du centre de Londres avant de rencontrer un homme de nationalité italienne pour le déjeuner. Le jour suivant, Litvinenko s'est senti brusquement malade et a été conduit à l'hôpital par son épouse. Il a fallu plus de deux semaines pour que les effets du poison — perte des cheveux, arrêt de fonctionnement des organes internes, difficulté respiratoire — deviennent manifestes. Les tests de toxicologie ont finalement confirmé la présence de thallium dans le sang de Litvinenko.

Les détectives de Scotland Yard enquêtent au sujet des hommes rencontrés par Litvinenko avant de tomber malade à la recherche de liens possibles avec l'empoisonnement. Ils n'ont pas écarté la possibilité de l'usage d'un stylo ayant servi à lui injecter le thallium à son insu. Cela concorderait avec l'assassinat antérieur à Londres de Georgi Markov, un dissident bulgare piqué avec la pointe empoisonnée d'un parapluie en 1978.

## Enquête :

Quels sont les effets d'un empoisonnement au thallium chez l'humain?  
Dans quels produits d'usage courant trouve-t-on du thallium?

## Applications du rayonnement ionisant : méthodes par traceur en médecine nucléaire (exploration gamma)

Nous avons déjà expliqué comment les indicateurs radioactifs sont utilisés dans les différents types de technologies de diagnostic pour améliorer les résultats d'examen et indiquer les régions d'intérêt, ou « zones chaudes ». En médecine nucléaire, l'exploration gamma sert à déterminer le schéma de croissance des os, à déceler les prédispositions à l'arthrite et à localiser les zones cancéreuses. Presque tous les examens de médecine nucléaire sont effectués au moyen d'un isotope du technétium, le  $^{99}\text{Tc}$ .

La scintigraphie se fait au moyen d'une caméra qui capte les rayons gamma émis par un indicateur radioactif. Les rayons gamma sont convertis en images formées de zones claires et de zones foncées. Les zones foncées ou « zones chaudes » n'indiquent pas nécessairement la présence de zones cancéreuses, mais plutôt les zones où s'est accumulé l'indicateur radioactif. Comme l'indicateur radioactif est généralement associé à une substance qui circule vers les parties du corps dont les cellules croissent plus rapidement que les autres ou anormalement, les « zones chaudes » peuvent signaler la présence d'un cancer, de zones arthritiques ou d'autres types de maladie osseuse. La caméra gamma est beaucoup plus souvent utilisée que les examens TEP.



**Figure 6-3**

*Image des os réalisée au moyen d'un indicateur radioactif, le strontium 90. On y perçoit clairement les os ainsi que les tendons.*

## Questions :

- 1 Peux-tu relever sur cette scintigraphie osseuse les zones susceptibles de soulever des préoccupations?
- 2 Trouve le type d'indicateur radioactif qu'utilisent les médecins pour voir les tendons sur une telle image.

## Dans les médias

### *La controverse entourant les isotopes médicaux canadiens*

Plus tôt au chapitre 2, nous avons abordé le rôle important joué par le Canada dans la production et la distribution de ce que l'on appelle des isotopes médicaux. Ces dernières années, il est intéressant de constater à quel point le Canada était un acteur essentiel en ce qui concerne les réserves mondiales de certains isotopes utilisés pour des traitements médicaux, notamment contre le cancer. En novembre 2007, la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) et Énergie atomique du Canada limitée (EACL) ont mis au devant de la scène le rôle du Canada dans l'approvisionnement d'une bonne partie des réserves mondiales d'isotopes médicaux. Dans un geste controversé, la CCSN a fermé le réacteur nucléaire (exploité par EACL) de Chalk River, en Ontario, pour une période de 27 jours. La fermeture était attribuable à des préoccupations de sécurité entretenues par EACL. À ce moment-là, une bonne partie de certains isotopes médicaux étaient produits par des réacteurs canadiens, ce qui a donc créé une situation d'urgence. Le 16 décembre 2007, le gouvernement du Canada a adopté une mesure législative d'urgence autorisant la réouverture des réacteurs de Chalk River et la poursuite de l'approvisionnement en isotopes médicaux au reste du monde. Il s'agit d'un bon exemple du lien entre la science et le bien-être des gens, ainsi que de notre dépendance à l'égard de la technologie pour nos besoins en soins de santé. Il souligne également l'importance de l'industrie nucléaire canadienne de la nécessité pour nous de mieux la comprendre.

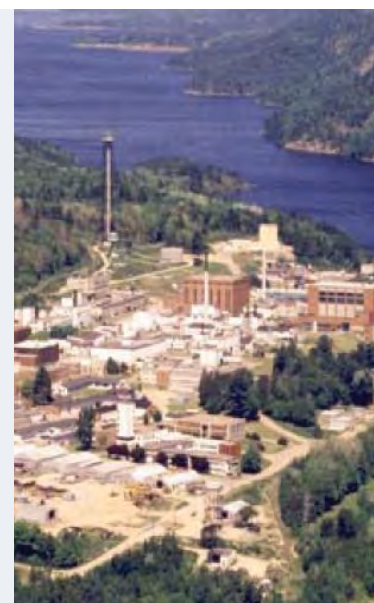


Figure 6-4

### Enquête :

Prends connaissance de cette histoire fascinante et examine de manière équilibrée les positions de la CCSN du gouvernement du Canada et d'EACL (un bon endroit où commencer est l'Internet (<http://www.radio-canada.ca>) et de taper les mots clés « isotopes médicaux » dans un moteur de recherche). Si tu étais le ministre fédéral des Ressources naturelles et que tu avais à décider de fermer ou non un réacteur canadien produisant un tiers des isotopes médicaux du monde – ne serait-ce que temporairement – quelle serait ta décision? Justifie ta réponse.

## Applications du rayonnement non ionisant : les lits de bronzage

Le rayonnement non ionisant est un rayonnement électromagnétique dont l'énergie est insuffisante pour causer l'ionisation. Son énergie est toutefois suffisante pour activer les particules, le résultat final se manifestant généralement sous forme de chaleur. Le rayonnement non ionisant inclut les fréquences comprises entre un hertz (1 Hz) et 300 GHz (gigahertz), et les longueurs d'onde comprises entre  $10^7$  m et  $10^9$  m. Le niveau d'énergie diminue proportionnellement à la diminution de la fréquence et à l'augmentation de la longueur d'onde. Les types de rayonnement non ionisant sont notamment le rayonnement UV, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radio.

Le rayonnement ultraviolet (UV) est une composante naturelle de la lumière solaire, et constitue probablement, pour la plupart des gens, la forme la plus familière de rayonnement non ionisant. Ses sources artificielles sont notamment les lampes germicides, les lampes à vapeur de mercure, les lampes à halogène, les lampes fluorescentes, la lumière incandescente et les lits de bronzage. Les lampes germicides émettent un rayonnement ultraviolet C (UVC) et servent à tuer les bactéries et à stériliser les surfaces. Chez l'humain, la surexposition aux UVC peut causer un grave coup de soleil au visage, phénomène que l'on appelle aussi l'ophtalmie des neiges. Très douloureuse, elle disparaît au bout de quelques jours.

Une autre composante de la lumière solaire, le rayonnement ultraviolet B, ou UVB, est la forme la plus destructive de rayonnement UV. Il possède suffisamment d'énergie pour occasionner des lésions au niveau cellulaire (y compris à l'ADN). Certains lits de bronzage utilisent le rayonnement UVB. Chez l'humain, ce type de rayonnement produit notamment des érythèmes (coups de soleil), des cataractes et le cancer de la peau.

La plupart des lits de bronzage utilisent le rayonnement UVA. Ils sont des sources concentrées de rayonnement UVA, et parfois aussi de rayonnement UVB. Il faut donc utiliser ces lits avec extrême prudence. Leur usage est d'ailleurs déconseillé aux moins de 18 ans. Les personnes âgées de 35 ans ou moins courent un risque beaucoup plus grand d'être atteintes d'une forme de cancer de la peau appelée mélanome malin plus tard dans la vie si elles ont été exposées de façon importante au rayonnement UVA dans les lits de bronzage.



Figure 6-5

## Le lien avec le cancer

*Les lits de bronzage sont-ils « sécuritaires »?*

Les lits de bronzage utilisent le rayonnement ultraviolet (UV). La plupart des lits de bronzage présents sur le marché utilisent le rayonnement UVA; cependant, certains utilisent aussi le rayonnement UVB. Quel que soit le type de lit de bronzage que vous prévoyez utiliser, il causera les mêmes dommages que la lumière solaire (rayonnement UV). Le rayonnement UV endommage la peau en causant l'apparition de rides, de taches de vieillesse et même de cancers de la peau — dont les mélanomes, qui peuvent être mortels s'ils ne sont pas détectés de manière suffisamment précoce. À l'échelle d'une vie, le temps d'exposition total au rayonnement UV accroît les risques de mélanome. C'est pourquoi l'Organisation mondiale de la santé (OMS) déconseille au moins de 18 ans l'utilisation des lits de bronzage.

Au cours de l'été 2009, le groupe de travail de la recherche sur le cancer de l'OMS a ajouté les lits de bronzage à sa liste de facteurs à haut risque pour le cancer, laquelle comprend le tabac, l'arsenic et le virus de l'hépatite B. Les lits de bronzage font maintenant partie du groupe 1, soit la catégorie « carcinogène pour les humains ».

Certaines personnes utilisent les lits de bronzage pour se faire un « fond » comme mesure de protection contre les coups de soleil avant le départ en vacances vers une destination soleil. Selon la British Columbia Cancer Agency, il n'existe aucune preuve à l'effet que le pré-bronzage ou le bronzage puisse protéger contre les coups de soleil.



Figure 6-6

## Applications du rayonnement non ionisant : les communications

Les téléphones cellulaires, les radios AM et FM, les tours hertziennes émettent tous de l'énergie électromagnétique. Les êtres humains vivent chaque jour entourés des micro-ondes et d'ondes de fréquence radio.

Les pylônes radio émettent sans cesse des ondes radio. Lorsque tu écoutes une station de radio possédant l'indicatif 99,9, ce nombre indique la fréquence utilisée par la station, soit une fréquence de 99,9 mégahertz. On peut déterminer la longueur d'onde qu'utilise cette station en divisant la vitesse de la lumière par la fréquence utilisée (rappelle-toi la formule  $v = \lambda f$ ). Une station qui opère à une fréquence de 99,9 MHz utilise donc une longueur d'onde d'environ 3,03 mètres.

Les signaux AM, FM et cellulaires se propagent en ligne droite et librement dans l'atmosphère terrestre. Comme la surface de la terre est courbe, ces signaux finissent par se perdre en un point donné — à moins d'être réfléchis vers la surface de terre par l'ionosphère ou par une tour de transmission. L'ionosphère (une couche atmosphérique où la lumière solaire ionise les atomes) reflète les ondes radio d'une fréquence inférieure à 30 MHz. En général, les signaux FM sont de fréquence supérieure et ne sont donc pas réfléchés par l'ionosphère. Les ondes radio AM sont de fréquence plus courte que les ondes utilisées par les téléphones cellulaires et que les ondes radio FM et sont donc généralement réfléchées vers la surface de la terre par l'ionosphère.

Santé Canada s'est doté d'un code de sécurité limitant l'exposition du grand public au cinquantième des niveaux pour lesquels des effets biologiques nocifs ont été observés. Le Code de sécurité limite à la fois les taux d'absorption et les niveaux d'exposition correspondants de ces types d'ondes électromagnétiques.

Selon Santé Canada, il est possible de dépasser la limite d'exposition maximale autorisée lorsqu'une personne donnée se tient à moins de trois mètres d'une antenne d'émission pour téléphone cellulaire. Ces antennes sont toutefois entourées de clôtures de protection, et le grand public n'y a généralement pas accès. Les travailleurs qui se trouvent à proximité d'antennes de ce type ne peuvent être exposés à plus du dixième des taux pour lesquels des effets biologiques nocifs ont été observés (conformément aux règlements de Santé Canada).

### Enquête :

1. Quelles nouvelles fréquences le gouvernement canadien a-t-il récemment autorisées pour permettre une concurrence accrue entre les fournisseurs de services de téléphonie cellulaire? Comment un fournisseur de services de téléphonie cellulaire ou une station de radio doit-il s'y prendre pour obtenir une fréquence d'exploitation?
2. Pourquoi le signal d'une station de radio est-il parfois plus clair la nuit que le jour?

## Vérifie tes connaissances

### Le téléphone cellulaire peut-il causer le cancer?

Origine de la croyance : Des particuliers ont tenté d'amener les compagnies de téléphone cellulaire devant les tribunaux au début des années 1980, alléguant que l'utilisation de leur téléphone cellulaire était à l'origine de leur tumeur au cerveau. Des groupes de discussion en ligne continuent de propager cette idée et des idées similaires, affirmant que l'énergie électromagnétique émise par les téléphones cellulaires est suffisamment puissante pour faire éclater le maïs et causer des lésions aux tissus cérébraux.

Les faits : On affirme sur le site Web Discovery Health que, de l'avis des scientifiques du Centre for Devices and Radiological Health de la Food and Drug Administration (États-Unis), il n'existe aucun lien logique entre l'usage du téléphone cellulaire et le cancer. Par contre, les scientifiques du Centre affirment que, selon les études, il existe bel et bien un lien entre l'usage du téléphone cellulaire et les risques d'accident de la route.

Source : BC Cancer Agency, « Tanning Beds », 4 février 2008. Consulté le 29 juillet 2008. <http://www.bccancer.bc.ca/PPI/Prevention/sunsafety/tanningbeds.htm>. (en anglais seulement)

Centre des médias – Nouvelles du CIRC : [http://www.iarc.fr/fr/media-centre/iarcnews/2009/sunbeds\\_uvradiation.php](http://www.iarc.fr/fr/media-centre/iarcnews/2009/sunbeds_uvradiation.php)



Figure 6-7

## Applications du rayonnement non ionisant : les fours à micro-ondes

Les fours à micro-ondes destinés aux consommateurs utilisent généralement une puissance de 500 à 1 000 watts et fonctionnent à une fréquence d'environ 2 450 mégahertz (MHz). L'énergie produite par ces fours sert à faire bouillir l'eau ou à cuire les aliments placés dans leur cavité.

Les fours à micro-ondes cuisent les aliments en les irradiant avec une énergie de haute fréquence et de très petite longueur d'onde. À l'intérieur d'un four à micro-ondes, les longueurs d'onde sont généralement de l'ordre de 10 à 12 cm. Comme la plupart des aliments ont une teneur en eau élevée, et comme les molécules d'eau sont polaires, l'énergie des ondes électromagnétiques du four se transmet aux molécules d'eau. Cette énergie excédentaire est convertie en chaleur, qui, au bout du compte, cuit les aliments. Si on y laissait les aliments suffisamment longtemps, l'eau finirait par s'évaporer et les aliments sécheraient.

Conformément à la réglementation, les fours à micro-ondes doivent être construits de manière à limiter au maximum les fuites de rayonnement — qui doit être environ 1 000 fois inférieur à celui présent à l'intérieur du four. Contrairement à ce qu'affirment des auteurs de courriels ou des blogueurs, les fuites de rayonnement ne présentent aucun danger. Les micro-ondes ne peuvent pas pénétrer le métal, et c'est pourquoi le four est fabriqué en métal (parfois recouvert de plastique). Même la fenêtre d'observation est dotée d'un treillis métallique. À moins que le four ne soit endommagé ou qu'il ait été modifié, les quantités de rayonnement qui s'en échappent sont trop faibles pour causer des dommages.



Figure 6-8

## activité—guimauves, four à micro-ondes et mathématiques

Sans plateau rotatif, les fours à micro-ondes cuiraient les aliments de manière inégale en raison du comportement des ondes. Nous pouvons partir d'un tel principe pour confirmer le fait que le rayonnement électromagnétique produit à l'intérieur d'un four à micro-ondes se propage en fait à la vitesse de la lumière.

1. Retire le plateau rotatif du four — s'il y en a un. Dépose un morceau de carton plat au fond du four.
2. Recouvre entièrement le carton de petites guimauves.
3. Règle le four à la puissance maximale et laisse cuire les guimauves jusqu'à ce que tu puisses distinguer l'apparition d'un motif formé de guimauves fondantes ou rôties et de guimauves crues. Retire alors minutieusement le carton et les guimauves.
4. Avec une règle, mesure la distance entre deux guimauves consécutives fondues. Elle équivaut à la longueur des ondes électromagnétiques du four. (Les guimauves fondues coïncident-elles avec des nœuds ou avec des ventres?)
5. Vérifie sur l'étiquette collée au dos du four quelle est sa fréquence de fonctionnement (elle est habituellement de 2 450 MHz). Utilise cette valeur et la longueur d'onde convertie en mètre pour calculer la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le four. Est-ce  $3 \times 10^8$  m/s?



### Approfondissement des connaissances:

Comment les détecteurs de fumée utilisent-ils les émetteurs de particules alpha?

Utilisent-ils le rayonnement ionisant ou non ionisant?

Présente tes résultats sous forme de tableau ou au moyen d'un autre support.



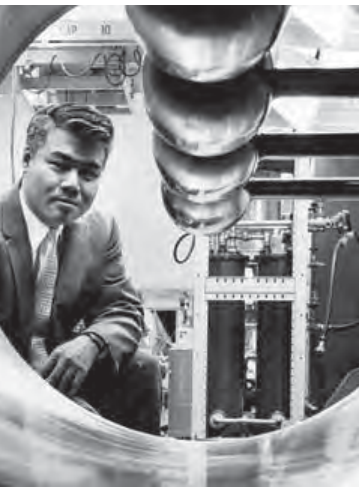


Figure 6-10

## Choix de carrière

### Physicien opérateur d'accélérateur

En tant que physicien opérateur d'accélérateur, tu seras notamment responsable de l'opération d'un complexe d'accélération : synchrotron, accélérateur linéaire et ensemble des technologies informatiques liées à ces appareils. Les employeurs encouragent généralement les analyses de faisceaux et les calculs d'accélérateur de haut niveau destinés à mieux faire comprendre la performance de l'accélérateur ainsi que la recherche dans les domaines d'intérêt personnel. À cette étape de ta carrière, tu auras déjà terminé tes études de doctorat, tu auras acquis plusieurs années d'expérience en physique théorique et appliquée et tu auras acquis les compétences en leadership qui te permettront de mettre sur pied une équipe de chercheurs capable d'atteindre des objectifs précis. Il s'agit d'un domaine de la physique pure réservé à l'élite!

Site Web liens carrière – Association canadienne des physiciens et physiciennes : [www.cap.ca](http://www.cap.ca)

## Révision du chapitre 6 : concepts et termes

**Concepts :** Les rayons gamma peuvent servir à stériliser l'équipement médical jetable. Pour ce faire, le cobalt-60 est généralement le radio-isotope de choix, mais on peut aussi utiliser les faisceaux d'électrons. Ces derniers ont l'avantage de permettre de réduire le temps d'exposition requis pour la stérilisation de l'équipement et d'être activés ou désactivés à volonté. L'utilisation du rayonnement ultraviolet aux fins de stérilisation se limite aux lampes germicides utilisées pour les surfaces et certains objets transparents.

La scintigraphie s'effectue au moyen d'une caméra qui convertie les rayons gamma en images. La caméra gamma est beaucoup plus souvent utilisée que les examens TEP.

Les types de rayonnement non ionisant sont notamment le rayonnement UV, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radio. Le rayonnement UV se compose des rayonnements UVA, UVB et UVC. Chez l'humain, le rayonnement UVC peut causer de graves coups de soleil qui disparaissent après quelques jours. Le rayonnement UVB peut causer des érythèmes (coups de soleil), des cataractes et le cancer de la peau. La plupart des lits de bronzage utilisent les rayonnements UVA et UVB.

Les applications possibles du rayonnement non ionisant sont notamment les téléphones cellulaires, la radio AM et FM et les micro-ondes. Santé Canada s'est doté d'un code de sécurité limitant l'exposition du grand public au cinquantième des niveaux pour lesquels des effets biologiques nocifs ont été observés. Contrairement à ce qu'affirment des auteurs de courriels ou des blogueurs, les fuites de rayonnement susceptibles de s'échapper des fours à micro-ondes ne présentent aucun danger.

Termes	
physicien opérateur d'accélérateur	gigahertz (GHz)
Énergie atomique du Canada limitée (EACL)	ionisation
blogueur	radiofréquence
Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN)	onde radio
Laboratoires de Chalk River	détecteur de fumée
faisceau d'électrons	stérilisation
érythème	stérilisation
rayon gamma	synchrotron
scintigraphie	Organisation mondiale de la santé (OMS)
lampe germicide	