

PHYSIQUE, SECONDAIRE 4
Document de mise en œuvre

REGROUPEMENT 4 : LA PHYSIQUE MÉDICALE

ÉBAUCHE NON-RÉVISÉE

JUIN 2006

La radioactivité

Résultats d'apprentissage spécifiques

- S4P-4-01 décrire le modèle nucléaire de l'atome, entre autres le proton, le neutron, le noyau, les forces nucléaires, la stabilité, les isotopes, le nombre de masse, l'électron, l'ion;
- S4P-4-02 définir la radioactivité comme un changement nucléaire qui produit de l'énergie, entre autres le becquerel, la désintégration radioactive, la période radioactive;
- S4P-4-03 effectuer des calculs de désintégration au moyen de nombres entiers de période radioactive;
- S4P-4-04 décrire les genres de rayonnement suivants : les rayons alpha, les rayons bêta et le rayonnement électromagnétique, entre autres le rayonnement corpusculaire, les rayons de la houle, le spectre électromagnétique, le transfert linéique d'énergie;
- S4P-0-1c rattacher l'historique des idées scientifiques et de la technologie à la forme et à la fonction du savoir scientifique actuel;
RAG : B1

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

1

Activer les connaissances antérieures des élèves sur le développement historique du modèle atomique de Bohr en les invitant à compléter l'exercice de l'**annexe 1**.

En secondaire 1, les élèves ont étudié le modèle atomique de Bohr. Les élèves ont étudié les quatre forces fondamentales en physique, secondaire 3.

OU

Activer les connaissances antérieures des élèves sur la radioactivité à l'aide de la stratégie « Écoute, dessine, trouve un partenaire, discute » (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 9.14-9.16). La question suivante peut servir de guide :

- *Qu'est-ce qui vous vient à l'esprit quand vous pensez à la radioactivité?*

En quête

1

- A) Revoir avec les élèves les concepts du modèle atomique qui posent de la difficulté. S'assurer qu'ils saisissent bien les concepts d'isotope, d'ion et de forces nucléaires. Des renseignements pour l'enseignant figurent à l'**annexe 2**.
- B) Expliquer aux élèves ce qu'est la radioactivité, la désintégration et la demi-vie (voir l'**annexe 3** ou *Physique 11*, p. 636, 637 et p. 641-644). Se procurer environ 200 pièces d'un cent (ou plus) et les distribuer aux élèves. Au départ, chaque pièce représente un noyau instable. Inviter les élèves à placer leurs pièces dans un gobelet, à agiter le gobelet puis à le retourner. Toutes les pièces qui tombent du côté face représentent un noyau désintégré (et que l'on présume maintenant stable), et toutes celles qui tombent

du côté pile représentent un noyau non encore désintégré – et donc instable. Demander aux élèves de remettre dans le gobelet les pièces tombées du côté pile – c'est-à-dire les « noyaux instables » – et de ranger à part celles tombées du côté face – qui sont « désintégrées » et ne comptent plus dans le jeu. Inviter les élèves à répéter l'opération à plusieurs reprises jusqu'à ce que le nombre de « noyaux instables » soit inférieur à 20, puis illustrer 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.

- C) Inviter les élèves à résoudre des problèmes sur la désintégration et la demi-vie (voir *Physique 11*, p. 664). Revoir les problèmes avec les élèves pour déterminer leur niveau de compréhension. Au besoin, réviser la matière ou la revoir en profondeur.
- D) Inviter les élèves à se renseigner sur les différents types de radiation (voir *Physique 12*, p. 666-673 ou l'**annexe 4**) et à résumer l'information à l'aide d'une stratégie de prise de notes (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 12.23).

En fin

1

Inviter les élèves à consolider leur compréhension des termes suivants au moyen du procédé tripartite (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 10.9, 10.10 et 10.22): *becquerel, désintégration radioactive, période radioactive, rayons alpha, rayons bêta, rayonnement électromagnétique.*

Stratégies d'évaluation suggérées

1

Inviter les élèves à dessiner des modèles de Bohr pour des atomes, des ions et des isotopes d'éléments.

2

Inviter les élèves à compléter un cadre de concepts au sujet de la radioactivité (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 11.20-11.22 et p. 11.36)

3

Inviter les élèves à compléter l'exercice de l'**annexe 5** (le corrigé figure à l'**annexe 6**).

4

Inviter les élèves à comparer les différents genres de rayonnements à l'aide de cadres de comparaison (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p.10.15-10.17 et p. 10.24).

Les types de radiation

Résultats d'apprentissage spécifiques

- S4P-4-05 comparer les sources et les caractéristiques du rayonnement ionisant et du rayonnement non ionisant, entre autres les matières radioactives naturelles, le radon, le rayonnement naturel, l'ampoule, les objets chauds;
- S4P-4-06 décrire des applications du rayonnement non ionisant, *par exemple les communications, le four à micro-ondes, le laser, le lit de bronzage;*
- S4P-4-07 décrire des applications du rayonnement ionisant, *par exemple l'irradiation des aliments, la stérilisation, le détecteur de fumée;*
- S4P-4-08 décrire les effets du rayonnement ionisant et non ionisant sur le corps humain, entre autres le sievert, les coups de soleil;
- S4P-0-2i sélectionner et intégrer de l'information obtenue à partir d'une variété de sources, entre autres imprimées, électroniques, humaines;
RAG : C6, C8

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Inviter les élèves à discuter les questions suivantes :

- *D'où vient la radiation?*
- *Est-elle toujours dangereuse?*
- *Devrait-on toujours tenter de l'arrêter?*
- *Peut-on l'arrêter?*

OU

Se procurer un compteur Geiger et mesurer le rayonnement naturel. Poser la question suivante aux élèves :

- *D'où vient cette radiation?*
- *Est-elle dangereuse?*

En quête

1

- A) Expliquer aux élèves la différence entre le rayonnement ionisant et non ionisant (voir **l'annexe 7**). Ensuite, inviter les élèves à se renseigner au sujet des applications du rayonnement ionisant et non ionisant à l'aide de la stratégie *Jigsaw* (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 3.21). Diviser la classe en groupes d'experts et assigner à chacun un article décrivant une différente application. Voici des thèmes et des articles possibles (des renseignements pour l'enseignant figurent à **l'annexe 8**) :

Fours à micro-ondes	http://www.cchst.ca/reponsesst/phys_agents/microwave_ovens.html
Communications	- http://www.mathematik.uni-muenchen.de/~kuntze/kuntze/villette/aufs/thst1.htm - http://www.cmathematique.com/cgi-bin/index.cgi?page=contenu1_121_7_10 - http://www.parl.gc.ca/infocomdoc/37/2/HERI/Studies/Reports/herirp02/04-Ch03-f.htm
Lits de bronzage	http://www.uv-index.ch/images_fr/Broch_Solarium.pdf
Traitement d'eau aux rayons UV	http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/co/enlo/eaeaus/eaeaus_002.cfm
Irradiation des aliments	http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/irradiation/index_f.html http://radio-canada.ca/actualite/lepicerie/docArchives/2003/01/31/enquete.html http://www.inspection.gc.ca/francais/fssa/concen/tipcon/irradf.shtml http://www.cna.ca/french/Nuclear%20Facts/Food%20Irridation%20FR.pdf
Détecteur de fumée	http://www.cna.ca/french/Nuclear%20Facts/Techno-smoke%20Detector%20FR.pdf
Télécommande	http://archi7.ouvaton.org/phys/dossiers/objets/telecomm_IR.html

Inviter les élèves à préparer un court résumé de l'article en expliquant le fonctionnement de l'application ainsi que ses effets possibles sur le corps humain. Vérifier les résumés de chaque groupe d'experts, faisant des corrections ou des ajouts s'il y a lieu. Pour s'assurer que chaque membre du groupe d'experts est en mesure d'expliquer son sujet, inviter les élèves à faire des explications à tour de rôle à l'intérieur du groupe d'experts. Ensuite, former des groupes hétérogènes (« familles ») pour qu'ils se partagent leurs nouvelles connaissances.

B) Inviter les élèves à lire un texte sur les effets du rayonnement sur le corps humain (voir l'**annexe 9**) et à résumer l'information à l'aide d'une stratégie de prise de notes (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 12.23).

En fin

1

Inviter les élèves à évaluer leur participation à l'activité de groupes d'experts (voir l'**annexe 10**).

Stratégies d'évaluation suggérées

1

Pour vérifier l'acquisition des connaissances par les élèves, utiliser la stratégie des têtes numérotées (voir *L'enseignement des sciences de la nature au secondaire*, p. 3.12).

Les techniques d'imagerie et de traitement médical

Résultats d'apprentissage spécifiques

S4P-4-09 étudier l'application du rayonnement dans les techniques d'imagerie et de traitement médical,
par exemple l'ultrason, l'endoscopie, l'imagerie nucléaire : l'imagerie par résonance magnétique (IRM), les rayons X, la tomodynamométrie (TDM), la tomographie par émission de positons (TÉP), la thérapie nucléaire : la curiethérapie, la radiothérapie externe, le couteau gamma;

Stratégies d'enseignement suggérées

En tête

Activer les connaissances antérieures des élèves en leur posant les questions suivantes :

- *As-tu déjà eu un rayon-X ou un ultrason?*
- *C'est quoi l'imagerie par résonance magnétique?*
- *As-tu déjà entendu parler du couteau gamma?*

En quête

1

Inviter les élèves à effectuer une recherche sur l'application du rayonnement dans les techniques d'imagerie et de traitement médical, par exemple :

- L'ultrason;
- L'endoscopie;
- L'imagerie par résonance magnétique;
- Les rayons X;
- La tomодensitométrie;
- La tomographie par émission de positrons;
- La curiethérapie;
- La radiothérapie externe;
- Le couteau gamma.

Des renseignements sur les techniques d'imagerie et de traitement médical figurent à l'**annexe 11**.

Leur proposer de partager l'information recueillie selon la méthode de leur choix (p. ex., exposé oral, brochure informative, présentation multimédia). Élaborer des critères d'évaluation avec les élèves. Les critères devraient porter aussi bien sur le contenu que sur les éléments de la présentation et devraient être semblables peu importe le type de présentation choisi par les élèves. On devrait attribuer la valeur d'un point à chaque critère ou utiliser une échelle d'évaluation simple (par exemple, excellent, bon, assez bon, pauvre) pour chacun.

Encourager les élèves à puiser de l'information de sources variées, à noter les références bibliographiques (voir l'**annexe 12**) et à examiner l'information pour en déterminer l'utilité.

En fin

1

Inviter les élèves à faire une autoévaluation de leur travail de groupe (voir l'**annexe 13**).

Stratégies d'évaluation suggérées

1

Évaluer les présentations des élèves selon les critères établis.

ANNEXE 1 : Exercice – Le développement historique du modèle atomique de Bohr

1. Associe chaque nom à la découverte correspondante.

- _____ Ernest Rutherford
- A.** Découvre l'existence des électrons par expérimentation, et déduit l'existence des protons.
- Tout atome est constitué d'électrons et de protons.
 - Tous les électrons sont identiques et ont une charge négative.
 - Tous les protons sont identiques et ont une charge positive.
 - Le proton a une masse beaucoup plus grande que l'électron, mais l'électron a le même montant de charge qu'un proton, quoique opposée en nature.
- _____ John Dalton
- B.** S'inspire du travail de plusieurs scientifiques pour expliquer pourquoi les électrons ne se précipitent pas vers le noyau (puisque toute charge négative est attirée par une charge positive).
- Propose une analogie entre le système solaire et l'atome : les électrons sont attirés vers le centre, mais ils possèdent une forte énergie et donc sont en perpétuel mouvement autour du noyau.
 - Il existe des couches électroniques (« niveaux d'énergie » ou « orbites ») où circulent les électrons. Des contraintes physiques limitent le nombre d'électrons dans chaque couche.
- _____ Niels Bohr
- C.** Propose une théorie atomique qui permet de distinguer les particules et les substances.
- Toute matière est constituée de petites particules appelées « atomes ».
 - Les atomes ne peuvent être créés, détruits ou divisés en plus petites particules.
 - Les atomes du même élément sont identiques, mais différents des atomes des autres éléments.
 - Un composé est créé lorsque se combinent, en proportions définies, des atomes de différents éléments.
- _____ Joseph John Thomson
- D.** À la fin des années 1800 et au début des années 1900 des études sur la radioactivité (Roëntgen, Becquerel, Curie) le mènent à découvrir le noyau et à déduire l'existence des neutrons.
- Le minuscule noyau contient les protons qui sont denses, lourds et positifs.
 - Un nuage électronique d'un très grand volume, mais très léger, entoure le noyau de l'atome; il est chargé négativement.
 - Les neutrons sont sans charge, mais ils ajoutent une importante masse au noyau; en effet, un neutron aurait une masse à peu près égale à celle d'un proton.
 - Ce ne sera que pendant les années 1930 que l'existence des neutrons sera confirmée par d'autres chimistes et physiciens.

2. Dessine le diagramme de Bohr pour les éléments suivants : sodium, fluor, argon.
3. Le nombre de masse d'un atome est 108 et son numéro atomique est 47. Il s'agit de quel élément?
4. Combien d'électrons, de protons et de neutrons a un élément dont le nombre de masse est 252 et le numéro atomique est 99. Quel est le nom de cet élément?
5. Quelle force fondamentale de la nature est responsable du maintien des protons et des neutrons dans le noyau d'un atome?

ANNEXE 2 : Le modèle nucléaire de l'atome – Renseignements pour l'enseignant

On peut décrire les atomes comme les éléments constitutifs de la matière. Les atomes sont formés d'une partie centrale appelée le noyau, qui constitue la majeure partie de la masse et renferme toute la charge positive. Les électrons entourent le noyau et portent une charge négative; chaque électron a une charge négative qui équilibre parfaitement la charge positive d'un proton du noyau. Les atomes neutres renferment un nombre égal de protons et d'électrons et ne possèdent par conséquent aucune charge nette. Le terme ion désigne un atome qui n'est pas neutre. Les ions peuvent avoir une charge positive ou négative, selon que les protons ou les électrons sont plus nombreux.

Deux types de particules distincts constituent le noyau : les protons et les neutrons, que l'on désigne globalement par le terme nucléons. Les protons et les neutrons sont de masse presque égale mais possèdent une charge différente : les protons ont une charge positive alors que les neutrons sont neutres. Le nombre de protons du noyau lui confère son identité élémentaire. C'est ce que l'on appelle le numéro atomique. À titre d'exemple, tout atome dont le noyau renferme six protons est défini comme un carbone.

Le nombre de nucléons de l'atome en détermine le nombre de masse. Soulignons que les éléments ont généralement plus d'un numéro de masse car le nombre de neutrons est variable, même pour les atomes d'un même élément. De telles variations chez un même élément sont à l'origine des isotopes. Par exemple, la plupart des atomes de carbone possèdent six neutrons. Ces atomes comptent donc douze nucléons et forment un isotope du carbone, le carbone 12. Un petit nombre d'atomes de carbone présents à l'état naturel renferment cinq neutrons, et donc onze nucléons. Il s'agit d'un autre isotope du carbone, le carbone 11.

Les particules du noyau exercent constamment des forces l'une sur l'autre. Les protons ont tous une charge positive et se repoussent donc mutuellement en raison de leur force électromagnétique. Comme les neutrons sont neutres, ils ne sont pas soumis à l'action d'une force électromagnétique. Les protons comme les neutrons sont soumis à l'effet puissant d'une autre force, la force nucléaire. Cette force d'attraction, supérieure à la force électromagnétique, n'a qu'une portée efficace très restreinte. Les protons d'un noyau se repoussent mutuellement sous l'effet d'une force et s'attirent mutuellement sous l'effet d'une autre. Ces forces peuvent s'équilibrer et, le cas échéant, les particules demeurent à l'intérieur du noyau. Un noyau qui renferme des nucléons en état d'équilibre durable est dit stable.

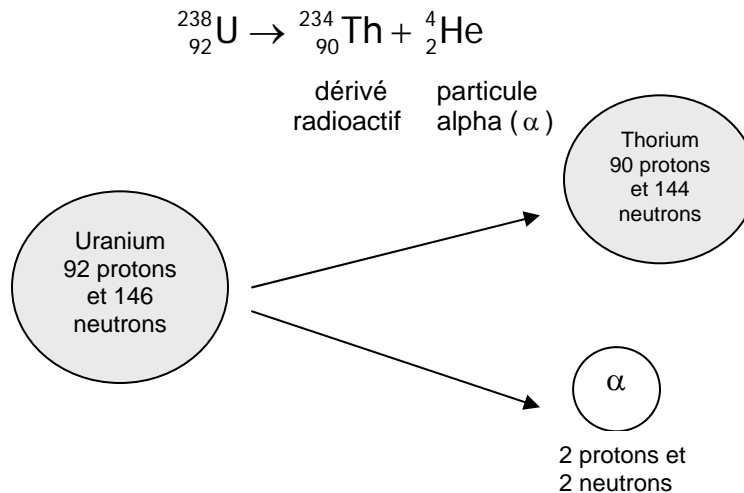
ANNEXE 3 : Radioactivité et période radioactive – Renseignements pour l'enseignant

Les forces qui agissent sur les particules du noyau peuvent provoquer la rupture de cet équilibre. Il se produit alors une transformation que l'on appelle désintégration radioactive. Les noyaux qui subissent une désintégration radioactive spontanée sont dits instables. La désintégration radioactive émet de l'énergie et peut aussi modifier la composition du noyau. On dit d'un échantillon de noyau instable qu'il a une activité, et l'unité de mesure d'une telle activité est le Becquerel (Bq), qui correspond à une désintégration par seconde. Bien qu'un noyau instable finisse certainement par se désintégrer, on ne peut prévoir la vitesse de la désintégration et c'est pourquoi on la dit aléatoire. Par exemple, on dit d'un échantillon de substance qui subit 100 désintégrations à la seconde qu'il a une activité de 100 Becquerels.

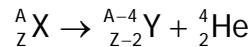
Comme c'est le cas lorsque l'on tire à pile ou face, il est impossible de prévoir le résultat d'un événement unique mais on peut prédire avec précision le résultat d'un grand nombre d'événements. La période radioactive est une mesure de la longévité d'un isotope instable qui correspond à la durée nécessaire pour que se désintègre la moitié du noyau d'un échantillon important. Prenons à titre d'exemple la période radioactive de l'iode 131 qui est de huit jours environ. Cela signifie que si nous prenons un échantillon de 1 kg d'iode 131, il ne resterait que 0,5 kg d'iode 131 après huit jours (soulignons que le poids de l'échantillon serait toujours d'environ 1 kg, mais que le 0,5 kg résiduel ne serait plus de l'iode 131). Après 16 jours (deux fois la durée radioactive), l'échantillon ne renfermerait qu'environ 0,25 kg d'iode 131. Précisons que 1 kg d'iode 131 renferme approximativement $4,6 \times 10^{24}$ atomes, ce qui rend la prévision statistique très précise.

ANNEXE 4 : Les types de radiation – Renseignements pour l'élève

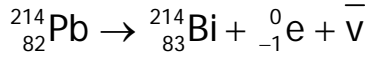
Lorsqu'un noyau se désintègre, il émet de l'énergie. Cette énergie peut prendre la forme de particules (dotées d'énergie cinétique) ou d'ondes. Les particules alpha sont littéralement des fragments de noyau composés de deux protons et de deux neutrons (et donc en fait identiques au noyau de l'atome d'hélium 4). Un isotope qui émet des particules alpha est décrit comme un émetteur alpha, et le processus d'émission de particules alpha par le noyau est la désintégration alpha. La partie résiduelle du noyau original est le dérivé radioactif, qui renferme deux protons et deux neutrons de moins (son identité élémentaire est donc modifiée) que l'atome parent et qui peut lui aussi être instable. Mentionnons à titre d'exemple que l'uranium 238 subit une désintégration alpha dont le dérivé radioactif est le thorium 234.



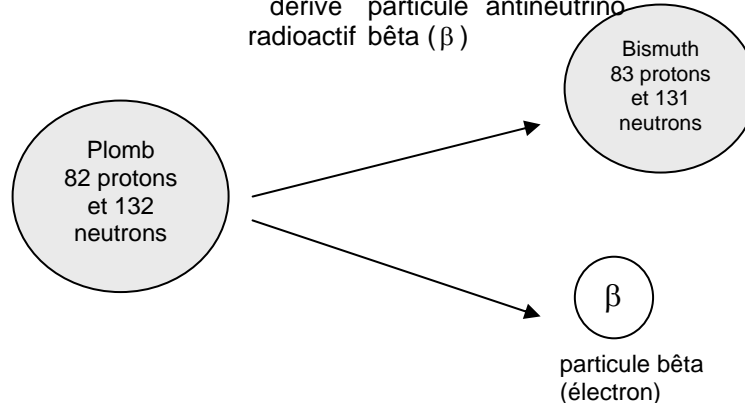
On représente la désintégration alpha par l'équation suivante :



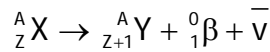
La désintégration bêta est le nom donné à l'émission par le noyau d'une particule bêta. Les particules bêta sont identiques aux électrons. La difficulté à laquelle on se heurte ici est que le noyau ne renferme au départ aucun électron. La particule bêta émise provient en fait de la transformation d'un neutron du noyau en proton. On serait tenté d'en déduire qu'un neutron n'est que le résultat de la fusion d'un proton et d'un électron, mais il n'en est rien. Au niveau subatomique, la création et l'annihilation de particules sont choses courantes. Soulignons à titre d'exemple que le carbone 14 subit une désintégration bêta dont le dérivé radioactif est l'azote 14.



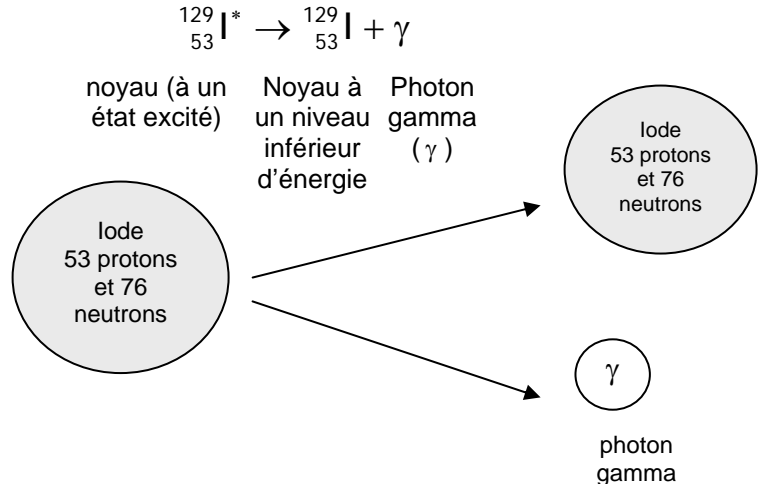
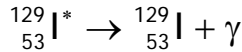
dérivé radioactif bêta (β) particule antineutrino



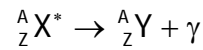
On représente la désintégration bêta par l'équation suivante :



Il se peut aussi que les particules du noyau ne changent pas de nature mais qu'elles passent à un niveau d'énergie moindre, émettant leur énergie sous forme de rayonnement électromagnétique (c.-à-d., de rayons gamma). Les rayons gamma sont essentiellement une forme d'énergie plus élevée de la lumière visible qui appartiennent tous deux à ce qu'il est généralement convenu d'appeler les ondes électromagnétiques. Le spectre électromagnétique regroupe toutes les ondes électromagnétiques, que l'on définit en fonction de leur fréquence et de leur longueur d'onde. Par ordre croissant d'énergie et de fréquence et par ordre décroissant de longueur d'onde, les composantes du spectre électromagnétique sont les ondes radio, les micro-ondes, l'infrarouge, la lumière visible, les ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma.



On représente la désintégration gamma par l'équation suivante :



ANNEXE 5 : Exercice – La désintégration et la demi-vie

Complète le tableau qui suit pour déterminer le temps nécessaire à de désintégration pour chaque pourcentage de la quantité initiale.

Élément	Demi-vie	50 % qui reste	25 % qui reste	12,5 % qui reste
Américium – 241	475 années			
Bismuth – 212	60,5 minutes			
Carbone – 14	5730 années			
Hydrogène – 3	12,26 années			
Fer – 59	45,6 jours			
Polonium – 216	0,16 secondes			
Sodium – 24	15 heures			
Uranium – 235	710 000 000 années			
Uranium – 238	4,5 milliards d'années			

ANNEXE 6 : La désintégration et la demi-vie - Corrigé

Complète le tableau qui suit pour déterminer le temps nécessaire à de désintégration pour chaque pourcentage de la quantité initiale.

Élément	Demi-vie	50 % qui reste	25 % qui reste	12,5 % qui reste
Américium – 241	475 années	<i>475 années</i>	<i>950 années</i>	<i>1425 années</i>
Bismuth – 212	60,5 minutes	<i>60,5 minutes</i>	<i>121 minutes</i>	<i>181,5 minutes</i>
Carbone – 14	5730 années	<i>5730 années</i>	<i>11 460 années</i>	<i>17 190 années</i>
Hydrogène – 3	12,26 années	<i>12,26 années</i>	<i>24,52 années</i>	<i>36,78 années</i>
Fer – 59	45,6 jours	<i>45,6 jours</i>	<i>91,2 jours</i>	<i>136,8 jours</i>
Polonium – 216	0,16 secondes	<i>0,16 secondes</i>	<i>0,32 secondes</i>	<i>0,48 secondes</i>
Sodium – 24	15 heures	<i>15 heures</i>	<i>30 heures</i>	<i>45 heures</i>
Uranium – 235	710 000 000 années	<i>710 000 000 années</i>	<i>1 420 000 000 années</i>	<i>2 130 000 000 années</i>
Uranium – 238	4,5 milliards d'années	<i>4,5 milliards d'années</i>	<i>9 milliards d'années</i>	<i>13,5 milliards d'années</i>

ANNEXE 7 : Le rayonnement ionisant et non ionisant – Renseignements pour l'enseignant

Certains élèves croient peut-être que le « rayonnement » est dangereux et qu'il faut s'en protéger. S'il est vrai que le rayonnement est parfois dangereux, il est toutefois impossible de l'éviter. Nombre de matériaux courants de notre environnement sont naturellement radioactifs car ils renferment des isotopes instables. Tout, de l'air que nous respirons aux aliments que nous mangeons en passant par la terre sur laquelle nous vivons, est radioactif. Outre ces sources d'origine terrestre, nous sommes constamment exposés au rayonnement en provenance de l'espace, y compris celui du soleil.

Il existe aussi plusieurs sources de rayonnement artificielles. Ce sont notamment les sources radioactives présentes dans les produits de consommation comme l'enveloppe des lanternes à gaz et les détecteurs de fumée ainsi que les sources de rayonnement auxquelles nous sommes parfois exposés au cours d'exams médicaux.

On peut généralement décrire le rayonnement, quelle qu'en soit la forme, comme ionisant ou non ionisant. Après leur émission par le noyau, les différentes formes de rayonnement peuvent interagir avec la matière et tout particulièrement avec les électrons entourant un atome neutre. Un rayonnement assez puissant peut extraire un électron de l'atome parent et créer un ion chargé et un électron libre est un rayonnement ionisant. Le rayonnement dont l'énergie n'est pas suffisante pour provoquer l'ionisation est dit non ionisant.

Lorsque l'on utilise le terme rayonnement au sens large, tout pour ainsi dire peut être source de rayonnement. Notamment, tout objet émet un rayonnement électromagnétique dont le type et la quantité varient en fonction de sa température. À température ambiante, les objets émettent surtout des infrarouges (rayonnement non ionisant). À température élevée, ils émettent en outre de la lumière visible (rayonnement non ionisant). Le filament d'une ampoule électrique incandescente est conçu pour émettre de la lumière visible lorsqu'il atteint une température suffisamment élevée.

Résumé : Le rayonnement ionisant est un rayonnement de particules (comme les particules α ou β ou les neutrons rapides) ou d'ondes électromagnétiques à haute énergie (comme les rayons gamma, les rayons X ou les rayons UV à haute énergie) suffisamment puissantes pour expulser les électrons des atomes ou des molécules et créer des ions. Le rayonnement non ionisant est un rayonnement d'ondes électromagnétiques qui n'a pas assez d'énergie pour expulser les électrons des atomes ou des molécules.

ANNEXE 8 : Applications du rayonnement ionisant et non ionisant – Renseignements pour l'enseignant

Le rayonnement joue un rôle important et varié dans notre vie quotidienne. Certaines applications du rayonnement comme dans le domaine des communications et le fonctionnement des fours à micro-ondes sont perçues comme utiles. D'autres applications comme l'irradiation des aliments prêtent à controverse, et d'autres encore, comme les coups de soleil et la radiothérapie, ont des conséquences majeures sur le plan médical. Il s'agit là d'excellents sujets de recherche autonome. Les élèves devraient être en mesure d'expliquer les lois physiques en rapport avec leurs recherches, de cerner les deux points de vue propres à tout sujet portant à controverse et d'aborder les inquiétudes que suscite leur sujet de recherche dans la société.

Applications du rayonnement non ionisant

Le rayonnement électromagnétique à haute énergie (rayons γ , rayons X, rayons ultraviolets à haute énergie) est suffisamment puissant pour ioniser les atomes et les molécules, ce qui n'est pas le cas des ondes électromagnétiques à basse énergie. On divise habituellement le spectre électromagnétique en sept régions environ qui tendent à se chevaucher. Les ondes électromagnétiques ayant la plus grande longueur d'onde, la plus basse fréquence et la plus basse énergie sont les ondes radio. Par ordre croissant d'énergie, le spectre comprend ensuite les micro-ondes, l'infrarouge, la lumière visible, les rayons ultraviolets, les rayons X et, finalement, les rayons γ . Les ondes électromagnétiques à basse énergie donnent lieu à différentes applications.

Les ondes électromagnétiques à très basse fréquence ayant des applications pratiques sont les ondes radio et télé. Les stations radios que nous écoutons le plus souvent sont soit des stations AM (à modulation d'amplitude) ou des stations FM (à modulation de fréquence). La gamme de fréquences des ondes AM varie entre 540 kHz et 1 605 kHz. La fréquence des ondes radio FM varie entre 88 MHz et 108 MHz. Les chaînes de télévision 2 à 6 utilisent des ondes électromagnétiques dont la fréquence varie entre 54 et 88 MHz, alors que les chaînes 7 à 13 utilisent des fréquences variant entre 174 et 216 MHz.

La plage de fréquences allant d'environ 10^9 Hz, ou 1 gigahertz (1 GHz), à environ 3×10^{11} Hz est le domaine des micro-ondes. Comme ces ondes pénètrent l'atmosphère terrestre, elles sont particulièrement utiles aux communications avec les véhicules spatiaux et en radioastronomie. Les micro-ondes servent à communiquer par l'intermédiaire des satellites et sont donc utiles en ce qui a trait à la technologie téléphonique et cellulaire. Elles servent aussi aux communications entre les avions, entre les avions et les stations terrestres et entre les stations de télévision.

Les molécules d'eau absorbent les micro-ondes, qui les font vibrer selon un mouvement de va-et-vient. L'énergie vibratoire se convertit rapidement en énergie thermique et l'eau s'échauffe. C'est le mode de fonctionnement des fours à micro-ondes. L'objet à chauffer doit contenir de l'eau, ce qui explique qu'une assiette en papier sèche n'absorbe aucune chaleur. De manière similaire, on utilise les appareils de diathermie pour réchauffer les muscles et les articulations afin de soulager la douleur.

La bande infrarouge se fonde dans celle des micro-ondes à environ 300 GHz (10^9 Hz, longueur d'onde de 1,0 mm) et s'étend jusqu'à environ 385 THz (10^{12} Hz, longueur d'onde de 780 nm). Le rayonnement infrarouge est vraiment un rayonnement thermique. Ce type de rayonnement trouve une application dans le domaine des communications dans le fonctionnement des télécommandes de téléviseur. Les appareils à infrarouge servent aussi de détecteurs de mouvement et donc de dispositifs de sécurité. Le rayonnement infrarouge trouve aussi application dans la fabrication des lampes thermiques utilisées en physiothérapie pour traiter les muscles endoloris. On utilise les films photographiques sensibles aux infrarouges pour la

production d'images dites thermographiques, qui montrent la distribution de la température dans une partie du corps et permettent de déceler tout signe de circulation sanguine anormale. Elles facilitent la détection des tumeurs cérébrales et des cancers du sein. Les satellites dotés d'un dispositif sensible au rayonnement infrarouge peuvent servir à la détection des maladies des cultures ou des lance-missiles. Les télescopes infrarouges servent à scruter le ciel.

La lumière visible sert à l'exposition des films photographiques et au traitement des prématurés atteints de jaunisse. Elle est nécessaire à la photosynthèse. Comme elle est parfois assez puissante pour rompre des liens chimiques fragiles, certaines substances se conservent de préférence dans des récipients opaques.

Applications du rayonnement ionisant

L'une des applications pratiques du rayonnement ionisant est le détecteur de fumée, dont le fonctionnement repose sur la désintégration alpha de l'isotope radioactif artificiel ${}^{241}_{95}\text{Am}$. Dans ce type de détecteur, on insère une quantité infime de ${}^{241}_{95}\text{Am}$ entre deux plaques métalliques connectées à une pile ou à une autre source de fréquence électromagnétique. Les particules α émises par la source ionisent l'air tout en permettant la circulation d'un courant électrique mesurable entre les plaques. Aussi longtemps que ce courant circule, le détecteur n'émet aucun son. Lorsque la fumée pénètre dans le détecteur, les molécules d'air ionisées tendent à « coller » aux particules de fumée et sont neutralisées, ce qui réduit l'intensité du courant et déclenche l'alarme. Les détecteurs de fumée à ionisation sont plus sensibles que les détecteurs photoélectriques, dont le déclenchement se produit lorsque la fumée est suffisamment épaisse pour obscurcir le faisceau lumineux.

Le rayonnement ionisant sert aussi à l'irradiation des aliments. Il peut détruire les insectes et les parasites des céréales, des haricots secs, des fruits et des légumes déshydratés ainsi que des viandes et des fruits de mer. Il sert à réduire le nombre de micro-organismes présents dans les aliments, permettant ainsi de diminuer le nombre de cas de maladies d'origine alimentaire. L'irradiation des aliments peut aussi servir à accroître la durée de conservation des aliments en inhibant la germination des récoltes comme les pommes de terre et les oignons et en retardant le mûrissement des fruits et des légumes frais. Les sources d'irradiation peuvent être des isotopes du cobalt (${}^{60}_{27}\text{Co}$) ou du césium (${}^{137}_{55}\text{Cs}$) ou des accélérateurs à particules qui soumettent les aliments à des quantités déterminées de rayons bêta ou de rayons X.

Comme le rayonnement ionisant peut détruire les micro-organismes, on l'utilise aussi pour stériliser l'équipement médical. On a alors recours à des isotopes du cobalt ou du césium ou à des accélérateurs à particules.

ANNEXE 9 : Les effets du rayonnement - Renseignements pour l'élève

Le rayonnement peut endommager les cellules des organismes biologiques, et ce, de différentes manières.

L'ionisation des atomes et des molécules produit des ions (aussi appelés radicaux). Ces ions, hautement réactifs, participent à des réactions chimiques qui interfèrent avec le fonctionnement normal des cellules. De plus, l'expulsion des électrons hors de la molécule peut entraîner la rupture de cette dernière. La structure de la molécule peut en être altérée au point de ne plus pouvoir fonctionner normalement où de se mettre à fonctionner de manière nuisible. Dans le cas des protéines, la perte d'une molécule n'a rien de grave s'il existe d'autres molécules identiques dans la cellule et si cette dernière peut en produire de nouvelles. Cependant, des doses considérables de rayonnement peuvent endommager un nombre de molécules à un point tel que la cellule ne peut en reproduire de nouvelles assez rapidement et qu'elle en meurt.

Le rayonnement ionisant peut aussi endommager l'ADN de la cellule. L'ADN fournit le code permettant la production de protéines et d'autres matériaux de la cellule. S'il est endommagé, la production de ces matériaux est compromise, et la cellule peut en mourir. Dans la plupart des cas, la mort d'une simple cellule n'occasionne habituellement pas de problème, car l'organisme peut la remplacer en en produisant une nouvelle. (Il existe des exceptions, comme les neurones, qui ne peuvent être remplacés, de sorte que leur perte constitue un problème grave.) Mais lorsque de nombreuses cellules meurent, l'organisme n'est pas toujours en mesure de réagir adéquatement. Il arrive aussi qu'une cellule ne meure pas mais qu'elle devienne anormale. Elle peut alors se diviser et produire d'autres cellules anormales au détriment de l'organisme. La croissance rapide de cellules anormales est à l'origine du cancer.

Le radon est une source de rayonnement qui soulève des inquiétudes particulières. L'uranium, présent en très petite quantité dans presque tous les sols, passe par une série de désintégrations donnant lieu à la formation d'isotopes dont le radon 222. Le radon est un gaz rare et donc chimiquement inerte. Ce gaz se dégage du sol pour entrer dans l'atmosphère, où il peut alors être inhalé. Une fois inhalé, le radon peut se désintégrer (il s'agit d'un émetteur alpha) et soumettre les poumons à un rayonnement alpha. De plus, les dérivés radioactifs de cette désintégration sont aussi radioactifs, et non inertes, et peuvent interagir avec le revêtement alvéolaire des poumons, où ils se fixent.

On classe souvent les dommages causés aux organismes biologiques par le rayonnement selon la nature des cellules touchées. Ainsi on parle de dommages « somatiques » ou « génétiques ». Les dommages somatiques touchent toute partie de l'organisme autre que les organes reproducteurs. Ils affectent l'organisme en question et peuvent causer le cancer. À doses élevées, le rayonnement peut provoquer la maladie des rayons caractérisée par la nausée, les vomissements, la diarrhée, la fatigue et la perte des poils et des cheveux. Elle peut même provoquer la mort. Sa gravité est proportionnelle à la dose de rayonnement reçue. Les dommages génétiques sont les dommages causés aux cellules reproductives et ils affectent les descendants des personnes atteintes. Les dommages à l'ADN et aux gènes des cellules reproductives entraînent des mutations nuisibles dans la majorité des cas. Ces mutations sont transmissibles aux générations suivantes.

De la lumière visible aux rayons ultraviolets : effets des rayonnements ionisant et non ionisant

La longueur d'onde de la lumière visible varie entre 400 nm environ pour la lumière violette et 700 nm pour la lumière rouge. La lumière blanche est parfois suffisamment puissante pour provoquer des réactions chimiques. Elle peut rompre des liens chimiques fragiles, de sorte que certaines substances comme l'aspirine et le vin sont conservés dans des récipients opaques. Les

films photographiques sensibles à la lumière sont bien connus. Les prématurés sont parfois atteints de jaunisse en raison d'un excès de bilirubine dans le sang. Il s'agit d'une affection traitée avec succès par l'exposition à la lumière car la lumière bleue est suffisamment énergétique pour dissocier les molécules de bilirubine. Le processus de la photosynthèse requiert la lumière. La photosynthèse élimine chaque année 200 000 millions de tonnes de carbone de l'atmosphère et produit de nombreuses molécules organiques complexes.

La gamme de longueurs d'onde des rayons ultraviolets varie approximativement entre 400 nm et 12,5 nm. Ces rayons provoquent certaines réactions dermatologiques comme le bronzage en activant la synthèse de la vitamine D. À une longueur d'onde d'environ 300 nm et moins, ces rayons peuvent provoquer des coups de soleil ainsi que le bronzage. Il est intéressant de souligner qu'à cette longueur d'onde, les rayons ultraviolets sont suffisamment énergétiques pour rompre les liens carbone-carbone. La plupart de ces rayons sont filtrés par l'atmosphère, surtout en haute altitude et lorsque les rayons solaires sont à un angle aigu par rapport à la terre, soit en hiver ou en début et en fin de journée. La couche d'ozone (molécules O₃) contribue à l'absorption d'une partie des rayons ultraviolets. Les rayons ultraviolets d'une longueur d'onde inférieure à 300 nm peuvent endommager ou détruire les acides nucléiques et les protéines, qui tous deux absorbent fortement ce type de rayon. L'exposition prolongée aux rayons ultraviolets peut, avec le temps, entraîner l'apparition de rides, de taches séniles, de kératose sénile (taches cutanées sombres et précancéreuses) et, en dernier lieu, du cancer. Le rayonnement ultraviolet peut aussi inhiber le système immunitaire, ce qui explique peut-être pourquoi certaines maladies virales comme l'herpès labial et la varicelle s'aggravent en cas d'exposition au soleil. Certains matériaux reflètent les rayons ultraviolets autant que la lumière visible, de sorte qu'une exposition prolongée à la réflexion de la neige ou d'un plan d'eau peut être plus dangereuse qu'il n'y paraît. Il en va de même pour le fait de s'étendre à la plage par temps couvert car la vapeur d'eau laisse passer une bonne partie des rayons ultraviolets. En revanche, les vitres ordinaires des fenêtres peuvent stopper ces rayons. Les rayons ultraviolets d'une longueur d'onde inférieure à 290 nm ont suffisamment d'énergie pour ioniser un atome ou rompre un lien chimique. Ces types de rayons ultraviolets sont germicides et peuvent donc tuer les micro-organismes.

ANNEXE 8 : Autoévaluation de l'apprentissage par groupes d'experts

Coche aux bons endroits.

		facilement	assez bien	avec difficulté
au sein de mon groupe d'experts	J'ai bien compris le rôle que j'avais à jouer au sein de mon groupe d'experts.			
	J'ai entrepris une préparation personnelle (lecture, etc.) avant la discussion en groupe d'experts.			
	J'ai été attentif à ce que disaient les autres experts et je n'ai pas interrompu inutilement les membres de mon groupe.			
	J'ai encouragé la participation des autres experts par mon attitude positive et respectueuse.			
	J'ai moi-même contribué positivement à la discussion, par l'entremise de nouvelles idées, de suggestions, de clarifications, etc.			
	J'ai bien saisi et pris en notes les renseignements clés de la discussion en vue de les partager avec ma famille.			
au sein de ma famille	J'ai bien compris le rôle que j'avais à jouer au sein de ma famille.			
	J'ai écouté attentivement les rapports faits au sein de ma famille et j'ai demandé des clarifications au besoin.			
	J'ai pris en note les renseignements clés issus des rapports faits au sein de ma famille.			
	J'ai rapporté fidèlement et efficacement les renseignements clés recueillis au sein de mon groupe d'experts.			
en plénière	J'ai écouté attentivement aux renseignements clés ressortis par l'enseignante ou l'enseignant après le partage en famille.			
	J'ai posé des questions de clarification lorsque je n'ai pas bien saisi certains renseignements cruciaux.			

De façon générale, je pense que la technique des groupes d'experts ...

- a) m'a aidé à bien apprendre les concepts clés. ____
- b) ne m'a pas aidé à bien apprendre les concepts clés. ____

Explique ta réponse.

ANNEXE 9 : Applications du rayonnement aux techniques d'imagerie diagnostique et de traitement – Renseignements pour l'enseignant

Les ultrasons (gamme de fréquence variant entre 1 mégahertz et 10 mégahertz) sont utilisés en médecine tant pour le diagnostic que pour le traitement. La technique utilisée en diagnostic est la suivante. Un transducteur émet une brève pulsation ultrasonique. Un transducteur est un dispositif effectuant la conversion d'une impulsion électrique en vibration mécanique qui produit une onde sonore. L'impulsion, partiellement réfléchiée par différentes surfaces du corps, se propage à travers l'organisme. Le transducteur sert aussi à détecter l'impulsion réfléchiée et transforme les impulsions sonores en pulsations électriques. Ces pulsations sont ensuite reproduites sur l'écran d'un tube cathodique comme un terminal à écran ou un écran TV. Prenons à titre d'exemple une pulsation sonore se propageant à travers l'abdomen d'un patient. Différentes surfaces de l'organisme reflètent partiellement la pulsation. Le temps écoulé entre l'émission de la pulsation et la réception de sa réflexion (écho) est proportionnel à la profondeur de la surface réfléchissante. La force de la pulsation réfléchiée dépend essentiellement de la différence de densité entre les tissus situés de part et d'autre de la surface. Aux points de rencontre des tissus avec les os ou les poumons, l'impulsion sonore est presque entièrement réfléchiée de sorte que les ultrasons ne peuvent servir à sonder l'organisme au-delà de telles surfaces.

En ce qui concerne l'utilisation des ultrasons aux fins de diagnostic, on a recours à la **technique échographique**. On fait pénétrer une pulsation sonore à haute fréquence dans l'organisme pour en détecter la réflexion par les zones limites ou interfaces entre les organes et autres structures ou lésions de l'organisme. Cette technique permet de déceler les tumeurs et autres excroissances ou poches de liquide anormales. Elle permet aussi d'examiner le fonctionnement des valvules cardiaques, le développement du fœtus et l'état de différents organes du corps comme le cerveau, le cœur, le foie et les reins. Si les ultrasons ne peuvent remplacer les rayons X, ils n'en demeurent pas moins très utiles pour certains types de diagnostic. En effet, les rayons X ne permettent pas de détecter certains types de tissus ou de liquides qui toutefois reflètent les ultrasons aux zones d'interface avec d'autres tissus. La technique permet aussi de produire des images ultrasonores en « temps réel » semblables à celles d'un film sur une partie interne du corps. De plus, les études ne font état d'aucun effet indésirable lié à l'utilisation des ultrasons à de faibles niveaux d'intensité de sorte que l'on considère les ultrasons comme une méthode d'examen non invasive.

Une autre utilisation des ultrasons en diagnostic médical a trait à l'**effet Doppler**, c'est-à-dire au changement de fréquence observé d'une onde émise par une source donnée en raison du mouvement relatif de l'observateur et de la source. On peut par exemple utiliser les ondes ultrasoniques reflétées par les globules rouges pour déterminer la vitesse du débit sanguin. Le détecteur de débit Doppler peut servir à localiser des régions où les vaisseaux sanguins se sont rétrécis. L'effet Doppler sert aussi à déterminer le mouvement de la poitrine chez un jeune fœtus et à mesurer son rythme cardiaque.

Endoscopie et chirurgie arthroscopique

L'**endoscope** est un appareil utilisé pour explorer l'intérieur des cavités naturelles du corps, et l'**endoscopie** est la technique qui repose sur l'utilisation de cet appareil. Pour comprendre le fonctionnement de l'endoscope, rappelons brièvement ce qu'est la réflexion totale interne. Lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre dont l'indice de réfraction est moindre (de l'eau à l'air par exemple), la lumière est réfractée suivant un angle différent de la normale. L'angle de réfraction, r , est supérieur à l'angle d'incidence, i . À mesure qu'augmente l'angle d'incidence, l'angle de réfraction s'accroît lui aussi. Lorsque l'angle d'incidence atteint une certaine valeur appelée **angle critique**, c , l'angle de réfraction est de 90° . L'angle de réfraction suit alors la surface. Lorsque l'angle d'incidence excède l'angle critique, il n'y plus de lumière réfractée. Toute la lumière incidente est reflétée vers sa source, phénomène que l'on appelle **réflexion totale interne**.

Le phénomène de la réflexion totale interne trouve une application importante dans l'utilisation de la fibre optique, où des fils de verre ou de plastique de l'épaisseur d'un cheveu appelés fibres optiques servent à « faire passer » la lumière d'un endroit à un autre. Une fibre optique est constituée d'un *cœur* optique cylindrique qui transporte la lumière et d'une *gaine* concentrique. Le cœur est fait de verre ou de plastique transparent possédant un indice de réfraction relativement élevé. La gaine est aussi faite de verre, mais d'un type de verre possédant un indice de réfraction relativement faible. La lumière pénètre par une extrémité du cœur, est réfléchi par l'interface entre le cœur et la gaine selon un angle d'incidence supérieur à l'angle critique et est par conséquent réfléchi vers le cœur. La lumière peut ainsi traverser la fibre optique selon une trajectoire en zigzag.

Résumé des techniques d'imagerie

Les ultrasons sont des ondes sonores à haute fréquence produites par un transducteur qui transforme une impulsion électrique en vibration mécanique pour ensuite détecter la même onde réfléchi par les interfaces entre les organes et autres structures du corps. La **technique échographique** permet plusieurs formes de diagnostic dont la détection de tumeurs, d'excroissance anormales et de poches de liquide. Elle permet d'examiner le fonctionnement des valvules cardiaques, de suivre le développement du fœtus et d'examiner l'état de différents organes du corps. Les ultrasons permettent de détecter certains types de tissus et de liquides non détectables par rayons X. Ils constituent une forme non invasive d'examen qui ne comporte aucun effet indésirable. L'**effet Doppler** permet de localiser des régions où les vaisseaux sanguins se sont rétrécis et de suivre le développement du fœtus. Les ultrasons à haute intensité servent à détruire les tumeurs et les calculs rénaux.

L'**endoscopie** est la technique qui repose sur l'utilisation de l'**endoscope**, un appareil servant à examiner les cavités naturelles du corps. L'endoscope est constitué de fils très minces de verre ou de plastique appelés **fibres optiques**. Ces fibres permettent de faire passer la lumière d'un endroit à un autre grâce au phénomène de **réflexion totale interne**, c'est-à-dire de la réflexion totale de la lumière incidente vers sa source lorsque l'angle d'incidence est supérieur à l'**angle critique**. Les endoscopes comme le bronchoscope ou colonoscope sont insérés dans les cavités naturelles du corps pour procéder à un diagnostic. On utilise aussi les fibres optiques en chirurgie arthroscopique, où l'on ne pratique qu'une très petite incision ne causant que des dommages minimes aux tissus environnants.

La lumière **laser** est le produit de l'excitation d'atomes qui émettent des photons qui, à leur tour, excitent d'autres atomes. Pour chaque photon absorbé par un atome, deux autres photons sont émis. Les photons émis se déplacent dans la même direction que le photon incident. Les ondes lumineuses ainsi produites sont en phase les unes avec les autres, et leur faisceau est monochromatique. On utilise notamment la lumière laser dans le cadre d'une intervention chirurgicale appelée **photokératectomie réfractive** (PKR) au cours de laquelle on prélève des tissus de la cornée pour corriger la myopie ou l'hypermétropie. On utilise un **laser à colorant pulsé** pour le traitement des malformations capillaires congénitales. Dans la **thérapie photodynamique**, on utilise les lasers pour activer des médicaments servant à tuer les cellules cancéreuses.

Les **rayons X** sont une forme de rayonnement électromagnétique généré par une grande différence de potentiel permettant l'accélération d'électrons projetés vers une cible métallique avec laquelle ils entrent en collision. Lorsqu'un patient est exposé à ce type de rayons, les tissus les plus denses comme les os absorbent davantage de rayonnement et produisent une image plus claire sur le film photographique ou sur l'écran fluorescent. La **tomographie axiale transverse avec ordinateur**, aussi appelée **tomodensitométrie (TDM)**, utilise les rayons X collimatés, des détecteurs et l'analyse informatique pour produire des images de structures et de lésions corporelles d'une définition supérieure à celle des rayons X. Elle permet de produire des coupes transversales bidimensionnelles ou des images tridimensionnelles.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) repose sur l'utilisation d'un champ magnétique puissant servant à aligner les noyaux d'atomes d'hydrogène à l'intérieur de l'organisme. Des bobines de radiofréquence produisent des ondes radioélectriques qui excitent les noyaux d'hydrogène. Lorsque les noyaux reviennent à leur état fondamental, les bobines détectent leur énergie, et un ordinateur analyse les signaux pour produire des images remarquablement détaillées du corps humain pouvant servir à l'établissement d'un diagnostic médical.

ANNEXE 10 : Références bibliographiques

Voici des lignes directrices en matière de présentation des références bibliographiques pour diverses sources d'information, soit des livres, des encyclopédies, des articles de revues ou de journaux, des brochures ou autres imprimés, des vidéocassettes, des documents électroniques et des personnes-ressources.

LIVRES OU ENCYCLOPÉDIES

- **nom** de l'auteur ou de l'auteure en majuscules, virgule, prénom en toutes lettres, point;
un auteur : AUDET, Marie.
deux auteurs : AUDET, Marie, et Jean BOUCHARD.
trois auteurs : AUDET, Marie, Jean BOUCHARD et Claire CHAMPAGNE.
trois auteurs et plus : AUDET, Marie, et autres.
sans auteur : *Grand dictionnaire encyclopédique Larousse*.
- **titre** du livre en italique, virgule;
- **lieu de publication**, virgule;
- **maison d'édition**, virgule;
- **date de publication**, virgule;
- **pages ou volumes consultés**, point;
- titre de la **collection**, entre parenthèses, point.

COSTA DE BEAUREGARD, Diane, et Catherine DE SAIRIGNÉ. *L'eau de la source à l'océan*, Paris, Gallimard Jeunesse, 1995, p. 20-29. (Collection Les racines du savoir nature).

DION, Marie-Claude, et autres. *Jeux de vélo*, Sainte-Foy (Québec), Éditions MultiMondes, 1998, p. 91-93.

Grand dictionnaire encyclopédique Larousse. Paris, Librairie Larousse, vol. 8, 1985.

HAWKES, Nigel. *La chaleur et l'énergie*, Montréal, Éditions École Active, 1997, p. 8-11. (Collection Flash Info).

ARTICLES DE REVUES OU DE JOURNAUX

- **nom** et prénom de l'auteur ou des auteurs (comme pour un livre), point;
- **titre** de l'article entre guillemets français, virgule;
- nom de la **revue** ou du journal, en italique, virgule;
- mention du **volume**, du **numéro**, de la **date**, du **mois** ou de **la saison** et de **l'année**, virgule;
- mention de la première et de la dernière **pages** de l'article, liées par un trait d'union, ou de la page ou des pages citées, point.

AGNUS, Christophe, et Sylvie O'DY. « La planète Océan », L'Express, n° 2403, 24 novembre 1997, p. 24-39.

« Des lacs au goût de sel ». *Le Journal des jeunes*, vol. 12, n° 2, 13 octobre au 9 novembre 2000, p. 3.

DUBÉ, Catherine. « Cancer, diabète, sida, Alzheimer : comment nous les vaincrons », *Québec Science*, vol. 39, n° 3, novembre 2000, p. 28-35.

BROCHURES OU AUTRES ARTICLES IMPRIMÉS

- **nom** de l'auteur ou de l'organisme, point;
- **titre** de la brochure, virgule;
- **lieu** de publication, virgule;
- **organisme** ou **maison d'édition**, virgule;
- **date de publication**, virgule;
- nombre de **pages**, point;
- titre de la **collection**, entre parenthèses, point.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. *L'histoire de l'eau potable*, Denver (Colorado), 1991, 15 p.

FÉDÉRATION CANADIENNE DE L'AGRICULTURE. *L'agriculture au Canada*, Ottawa, 1998, 36 p.

SERVICE DES EAUX, DU TRAITEMENT DES EAUX USÉES ET DES DÉCHETS SOLIDES. *Winnipeg et l'eau : L'eau, une ressource indispensable*, Manitoba, Ville de Winnipeg, 13 p.

DOCUMENTS ÉLECTRONIQUES

- **nom** et prénom de l'auteur (comme pour un livre), point;
- **titre** de l'article entre guillemets français, virgule;
- **nom** du document en italique, virgule;
- **support** (cédérom, site Web, vidéocassette, etc.), virgule;
- **lieu**, virgule;
- **organisme ou maison d'édition**, virgule;
- **date**, point;
- pour les sites Web, entre crochets et sur une ligne à part : **adresse Web**, virgule, **date de consultation**.

« Isaac Newton », *Encyclopédie des sciences Larousse*, cédérom, Paris, Larousse, 1995.

LANDRY, Isabelle. « Les plaques tectoniques », *L'escale*, site Web, Québec, KaziBao Productions, 2000.
[<http://www.lescale.net/plaques/>, 8 novembre 2000]

« La météorologie », *Méga Météo - partie 1*, vidéocassette, Ontario, TVOntario, 1999.

PERSONNES-RESSOURCES

- **nom** et prénom de la personne, point;
- **titre** ou **fonction** qu'occupe cette personne, virgule;
- **métier** et **formation**, virgule;
- **organisme** ou **société** où elle œuvre, virgule;
- **date** de l'entrevue, point.

LAMOUREUX, Janelle. Animatrice et interprète, biologiste, Université du Manitoba, Centre Fort Whyte, 3 décembre 2001.

REMARQUES GÉNÉRALES

- Les références bibliographiques doivent être classées par ordre alphabétique.
- La première ligne de la référence est à la marge de gauche, mais la ou les lignes suivantes sont renforcées.
- Dans une bibliographie qui comprend plusieurs types de documents, les références bibliographiques peuvent être classées par catégories, toutefois ce genre de regroupement n'est recommandé que lorsque le nombre de sources consultées est considérable.
- L'uniformité est le principe fondamental de toute bibliographie.
- Il faut s'assurer de noter tous les renseignements bibliographiques dès la première consultation, car il est très difficile de retracer ces informations plus tard.
- Tous les renseignements bibliographiques énumérés ci-dessus ne sont pas faciles à repérer, parfois ils sont même absents. Se rappeler que le premier but d'une bibliographie est de permettre aux lecteurs et lectrices qui la parcourront de pouvoir trouver les ouvrages cités.

ANNEXE 13 : Réflexion individuelle sur le travail en groupe

<p>Réfléchis au travail que toi et ton groupe avez fait ensemble et évalue-le. Après ta réflexion, discutes de tes réponses avec les membres de ton groupe.</p> <p>Légende : 1 - peu satisfait(e) 3 - satisfait(e) 5 - très satisfait(e)</p>	
<p>J'ai bien participé.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Le groupe s'est bien concentré sur la tâche.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>Je me suis consciemment efforcé(e) de collaborer.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Le groupe a bien collaboré.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>J'ai écouté les autres et j'ai bien accueilli leurs contributions.</p> <p>1 2 3 4 5</p>	<p>Tout le monde a contribué.</p> <p>1 2 3 4 5</p>
<p>La prochaine fois, je pourrais...</p>	<p>La prochaine fois, le groupe pourrait...</p>