

Formation en radioprotection

Notes de cours

**À l'intention des utilisateurs
de matières radioactives**

Colette Tremblay
Service de sécurité et de prévention
Mai 2015



Table des matières

INTRODUCTION AUX RAYONNEMENTS	3
OBJECTIFS	3
MODULE 1 RAYONNEMENT ET RADIOACTIVITÉ	5
1.1- LA STRUCTURE DE L'ATOME	5
1.2- LES ISOTOPES	5
1.3- LES RAYONNEMENTS	6
1.4- DÉTECTION ET MESURE DU RAYONNEMENT	12
1.5- L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT	16
NOMBRE MOYEN DE JOURNÉES DE VIE EN MOINS EN RELATION À DIVERS FACTEURS	18
MODULE 2 PROPRIÉTÉS DES RADIO-ISOTOPES	19
2.1 LES PRINCIPAUX RADIO-ISOTOPES UTILISÉS COMME SOURCES NON SCÉLLÉES	19
2.2 UTILISATIONS DES SOURCES SCÉLLÉES À L'UNIVERSITÉ LAVAL	26
2.3 PRINCIPAUX RADIO-ISOTOPES UTILISÉS SOUS FORME DE SOURCES RADIOACTIVES SCÉLLÉES	26
MODULE 3 IONISATION ET DOSES	29
3.1- L'IONISATION DE LA MATIÈRE	29
3.2- SOURCES DE RADIO EXPOSITION	31
3.3- LES DOSES DE RAYONNEMENT	32
MODULE 4 EFFETS BIOLOGIQUES	35
4.1- TYPES D'EFFETS	35
4.2- CONSÉQUENCES MOLÉCULAIRES D'UNE IRRADIATION	35
4.3- EFFETS DÉTERMINISTES	36FF
4.4- EFFETS STOCHASTIQUES	37
MODULE 5 LES FEMMES ENCEINTES ET LA RADIOACTIVITÉ	39
5.1- LES MODES D'EXPOSITION DU FŒTUS	39
5.2- MESURES DE PROTECTION	400
5.3- DÉCLARATION DE GROSSESSE	400
5.4- LIMITES DE DOSE PENDANT LA GROSSESSE	411
MODULE 6 CADRE RÉGLEMENTAIRE	43
6.1- ORGANISME DE RÉGLEMENTATION	43
6.2- PERMIS DE L'UNIVERSITÉ LAVAL	43
6.3- LOIS ET RÈGLEMENTS	43
6.4- TENUE DE DOSSIERS, RAPPORTS ET NOTIFICATIONS	45
MODULE 7 CLASSIFICATION DES LABORATOIRES ET AFFICHAGE	47
7.1- LE SYMBOLE DU RAYONNEMENT	47
7.2- QUANTITÉS IMPORTANTES POUR LA CLASSIFICATION DES LABORATOIRES	47
7.3- CLASSIFICATION DES LABORATOIRES	49

7.4- AFFICHAGE	49
7.5- ÉTIQUETAGE	49
MODULE 8 LA RADIOPROTECTION	51
8.1- PRINCIPES DE RADIOPROTECTION	51
8.2- PRINCIPE ALARA : « AS LOW AS REASONABLY ACHIEVABLE »	51
8.3 MESURES DE SÉCURITÉ GÉNÉRALES	51
8.4- CONTRÔLE DE LA RADIO EXPOSITION	52
8.5- CONTRÔLE DE LA CONTAMINATION DES LOCAUX	55
8.6- PRÉCAUTIONS AVEC LES SOURCES SCELLÉES ET APPAREILS À RAYONNEMENT	57
8.8- PROCÉDURES D'URGENCE	58
8.9- INSPECTIONS	59
MODULE 9 ACHAT, RÉCEPTION ET ÉLIMINATION	61
9.1- ACHAT S ET RÉCEPTION DES MATIÈRES RADIOACTIVES	61
9.2 LE SYSTÈME D'INVENTAIRE SYGEMAR	61
9.3 RÈGLEMENTS SUR LE TRANSPORT ET LA RÉCEPTION DES SUBSTANCES NUCLÉAIRES	62
9.4- ÉLIMINATION DES MATIÈRES RADIOACTIVES	63
ANNEXE 1 UNITÉS DE MESURE DES RAYONNEMENTS – SYSTÈME INTERNATIONAL (SI)	65
ANNEXE 2 LIMITES DE DOSES	67
ANNEXE 3 VALEUR DE LA QUANTITÉ D'EXEMPTION POUR LES ISOTOPES COURANTS	69
ANNEXE 4 RÈGLES D'AFFICHAGE	71
ANNEXE 5 TECHNIQUE D'ENLÈVEMENT DES GANTS CONTAMINÉS	75
ANNEXE 6 MÉTHODE DE CALCUL DES VALEURS EN BQ/CM ²	77
ANNEXE 7 L'ÉQUIPE DE RADIOPROTECTION	79
ANNEXE 8 RÉCEPTION DE COLIS RADIOACTIFS	81
ANNEXE 9 SYGEMAR SYSTÈME DE GESTION DE MATIÈRES RADIOACTIVES	83

Introduction aux rayonnements

Les rayonnements ionisants sont constitués de particules ou de photons susceptibles de produire de l'excitation et de l'ionisation dans la matière qu'ils traversent. Les rayonnements ionisants ont toujours été présents dans l'environnement terrestre; ils font partie du rayonnement naturel.

Le travail avec les matières radioactives peut causer une exposition supplémentaire chez les travailleurs, en plus de l'exposition naturelle. Pour contrôler cette exposition et réduire les risques de contamination des personnes travaillant avec des matières radioactives, il est important de se familiariser avec le concept et les règles de la radioprotection.

OBJECTIFS

La formation en radioprotection s'adresse à tous les travailleurs, les chercheurs ou toute autre personne qui entrent en contact avec des substances nucléaires (ou radioactives) à l'Université Laval. La formation permettra à ceux-ci :

- D'évaluer les dangers associés aux rayonnements;
- De mettre en œuvre des mesures de protection appropriées pour diminuer l'exposition aux rayonnements;
- De répondre convenablement aux situations d'urgence mettant en cause des matières nucléaires;
- De gérer l'utilisation des matières nucléaires conformément aux normes et règlements.

MODULE 1

RAYONNEMENT ET RADIOACTIVITÉ

1.1- La structure de l'atome

L'atome est composé d'un noyau central et d'un nuage périphérique d'électrons.

Le noyau est constitué de nucléons (protons et neutrons).

Le proton est une particule très dense et de charge électrique positive. Le **neutron**, de masse à peu près équivalente, est électriquement neutre.

L'électron est une particule très petite dont la charge négative est égale en valeur absolue à celle du proton. Les électrons donnent à l'atome ses propriétés chimiques.

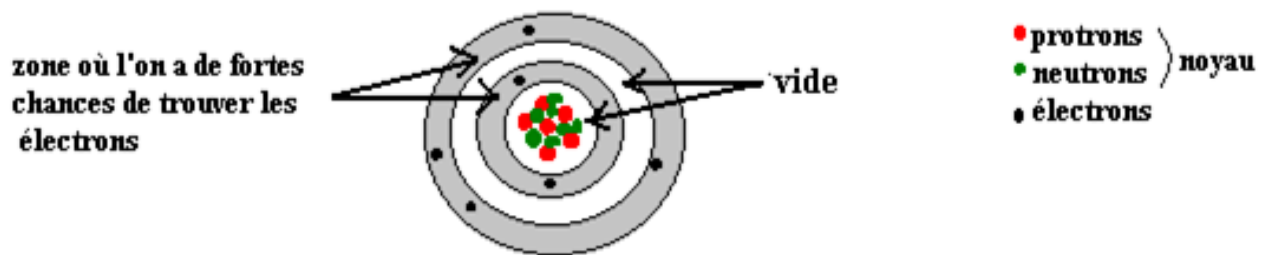


Figure 1- Représentation d'un atome

Tous les atomes sont caractérisés par :

- **Le numéro atomique** : Nombre de protons présent dans le noyau. Ce nombre définit la nature de l'élément chimique
 - Symbole : Z
- **La masse atomique** : Nombre de protons plus nombre de neutrons (N) présents dans le noyau
 - Symbole : A

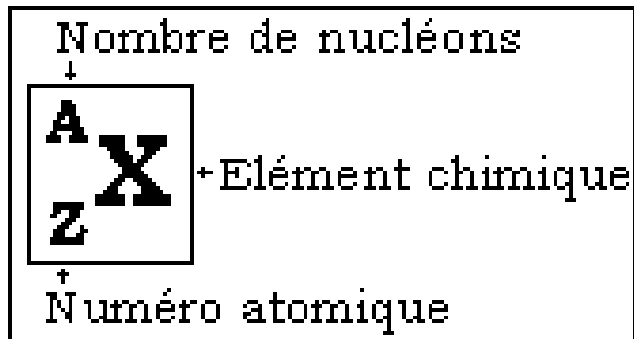


Figure 2- Description d'un élément chimique

1.2- Les isotopes

Définition

Isotopes : atomes semblables ayant le même nombre de protons (Z) mais un nombre différents de neutrons (N). Les isotopes d'un même élément diffèrent uniquement par le nombre de neutrons du noyau. L'hydrogène a trois isotopes dont les noyaux possèdent respectivement un seul proton, un proton et un neutron, ou un proton et deux neutrons.

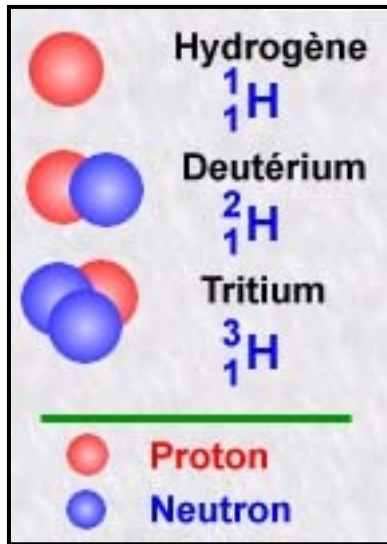


Figure 3- Les différents isotopes de l'hydrogène

Les trois isotopes de l'hydrogène ont les mêmes propriétés chimiques mais des propriétés nucléaires différentes puisque les deux premiers sont stables, alors que le tritium est radioactif.

En effet, les isotopes dit « **radioactifs** » subissent une désintégration en émettant des rayonnements (les types de rayonnement seront vus en détail un peu plus loin), et ce, jusqu'à ce que soit atteinte une forme stable (sans émission de rayonnement). Un isotope radioactif peut aussi être nommé **radionucléide** ou radioélément.

Les radionucléides les plus utilisés à l'Université seront décrits **dans le module 2**.

1.3- Les rayonnements

- **Radioactivité** = émission de particules et/ou de photons de haute énergie constituant un **rayonnement**.

1.3.1 Origine du rayonnement radioactif

- La configuration des noyaux des différents isotopes est plus ou moins stable. Les noyaux instables subissent des transformations qui les rapprochent des conditions de stabilité.

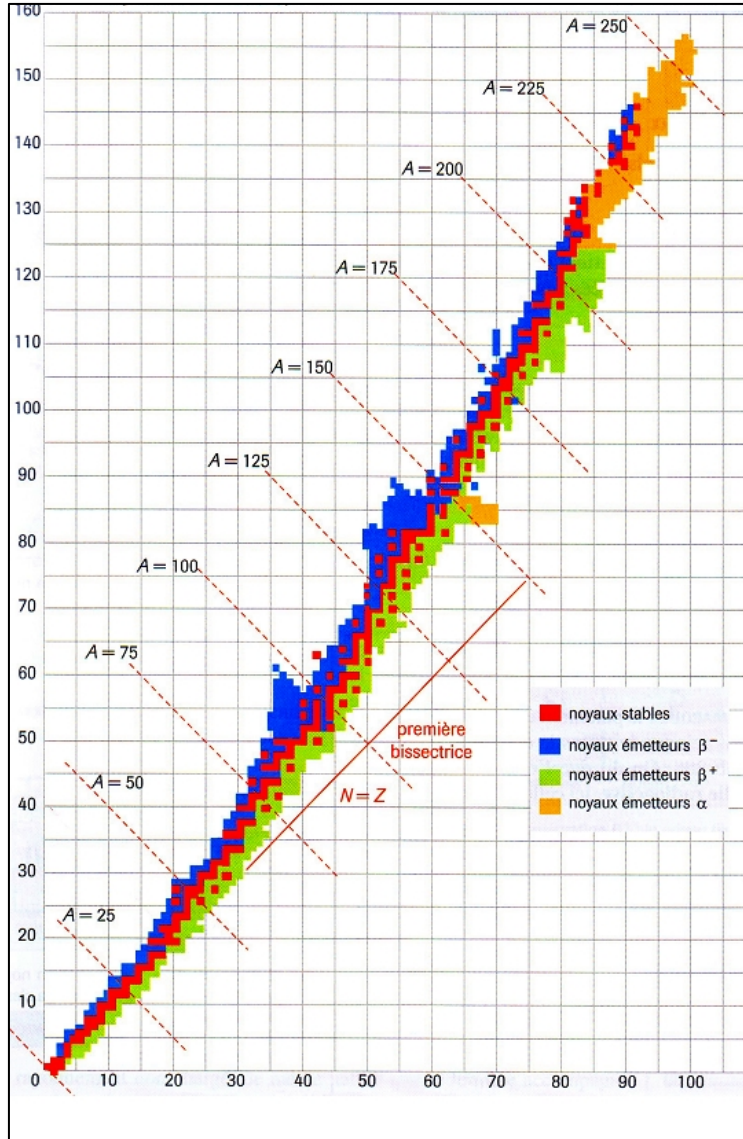


Figure 4- Représentation graphique de la « vallée de stabilité » des isotopes.

La vallée de stabilité désigne l'endroit où se situent les isotopes stables, quand on porte en abscisse le nombre de protons et en ordonnée le nombre de neutrons de chaque isotope.

Lorsque nous reportons sur un tel graphique tous les isotopes connus, on constate que tous les isotopes stables sont regroupés autour d'une courbe nommée vallée de stabilité (isotopes représentés en rouge). La vallée de stabilité est sensiblement située sur la première bissectrice pour les noyaux $Z \leq 30$. Au-delà, elle est globalement située au-dessus de la droite $Z = N$, il y a plus de neutrons que de protons. La vallée de stabilité proprement dite se termine au bismuth, au-delà duquel on ne trouve aucun nucléide stable.

Toutes les radioactivités particulières tendent à faire revenir vers cette vallée les éléments qui les émettent, vallée qui correspond au minimum des énergies d'assemblage nucléaire. En règle générale, un

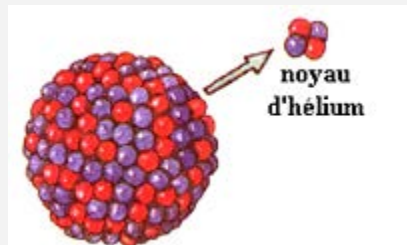
isotope sera d'autant plus instable, donc d'autant plus radioactif, qu'il sera éloigné de cette vallée de stabilité.

- La stabilité nucléaire dépend de plusieurs facteurs
 - **Le volume du noyau.** Dans les noyaux lourds, l'attraction entre les particules due aux forces gravitationnelles ne compense pas la répulsion entre les charges positives des protons. Les noyaux expulsent des « paquets » comportant deux protons et deux neutrons, appelés particules α (alpha), pour atteindre un état plus stable (représentés en orange sur le graphique).
 - **La proportion entre les neutrons et les protons.** Les noyaux riches en neutron émettent des électrons ou particules β^- (bêta), représentées en bleu. Les noyaux riches en protons émettent des positrons ou particules β^+ , représentées en vert sur le graphique.
 - **Les noyaux se retrouvent souvent avec un excès d'énergie** après une première émission de rayonnement :
 - Ils émettent cet excédent d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique γ (gamma)

1.3.2 Les types de rayonnement radioactif

Les particules alpha (α)

Émis par les noyaux lourds présentant un excès de protons. La désintégration alpha émet une particule semblable à un noyau d'hélium, ^4He .



Le rayonnement alpha est peu pénétrant et est arrêté après avoir traversé :

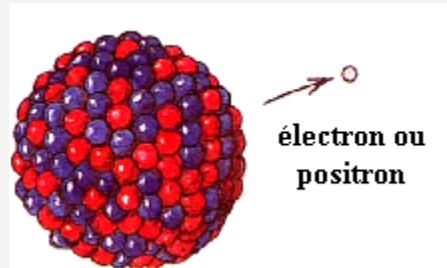
- une simple feuille de papier;
- 1 mm d'eau;
- 2 cm d'air;
- l'épiderme (la couche superficielle de la peau).

À cause de sa masse élevée, il est particulièrement ionisant quand il pénètre dans le corps.

Les particules bêta (β)

L'émission d'une particule bêta négative est le processus de stabilisation utilisé par les noyaux qui

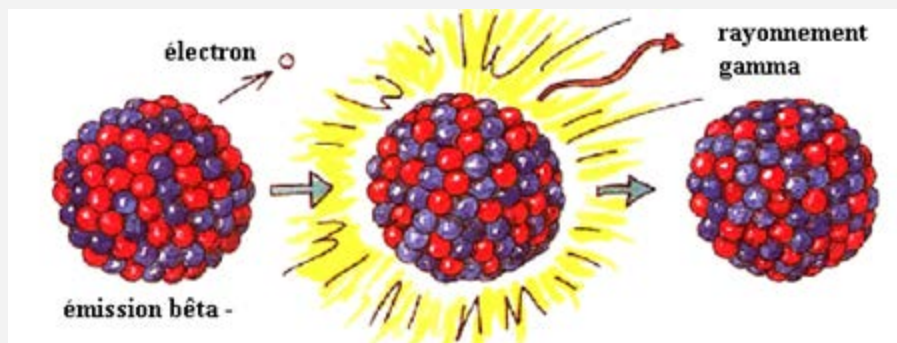
possèdent trop de neutrons. Les neutrons peuvent se transformer en paire proton plus électron, avec l'émission de particule bêta dont l'énergie varie entre 0,0188 et 14 MeV. La particule bêta peut aussi être positive (de même masse et de même énergie que l'électron), si le noyau contient trop de protons.



L'électron ou le positron étant des particules légères, le rayonnement β est beaucoup plus pénétrant que le rayonnement α . Comme ces particules sont chargées, elles interagissent facilement avec la matière. Elles peuvent pénétrer jusqu'à un ou deux centimètres de tissu vivant, un centimètre d'eau ou deux mètres d'air. Une feuille d'aluminium de six millimètres d'épaisseur peut arrêter la plupart des particules bêta. Il est, dans certains cas, préférable d'utiliser un blindage de plastique au lieu d'un blindage de métal, notamment avec le ^{32}P .

Le rayonnement gamma (γ)

Le rayonnement gamma est fait de photons, analogues aux photons visibles, mais beaucoup plus énergétiques. Leur émission suit habituellement une désintégration alpha ou bêta, et correspond à un réarrangement des nucléons. Il n'y a changement ni du nombre de masse A, ni du numéro atomique Z.



Le photon est une particule sans masse, extrêmement pénétrante et de plus, n'étant pas chargée, elle interagit peu avec la matière.

L'effet est atténué par des matériaux (plomb, béton, eau, air).

- Certains rayons gamma traversent le corps humain de part en part.

Les rayons X

Les rayons X ont été découverts en 1895 par Wilhelm Conrad Röntgen. Tout comme le rayonnement gamma, ils sont constitués d'un rayonnement électromagnétique. Ils sont produits en bombardant d'électrons des atomes lourds comme le tungstène. Pour diminuer notre exposition à ce type de

rayonnement, l'utilisation de matériaux possédant un pouvoir absorbant assez fort est nécessaire. Une feuille de plomb de plusieurs centimètres constitue un écran qui arrête presque tous les rayons X.

Le neutron

Le rayonnement neutronique est provoqué par l'expulsion de neutrons du noyau.
Les neutrons sont classés selon leur énergie :

- Neutron rapide > 8 keV
- Neutron lent < 8 keV
- Neutron thermique ~ 0,025 eV

Ils ont un pouvoir de pénétration similaire au rayonnement gamma. Un neutron de 10 MeV peut traverser plusieurs dizaines de centimètres de béton tandis que les neutrons lents vont être ralentis d'un facteur 10 par chaque 10 mm d'eau ou de tissus humains parcourus.

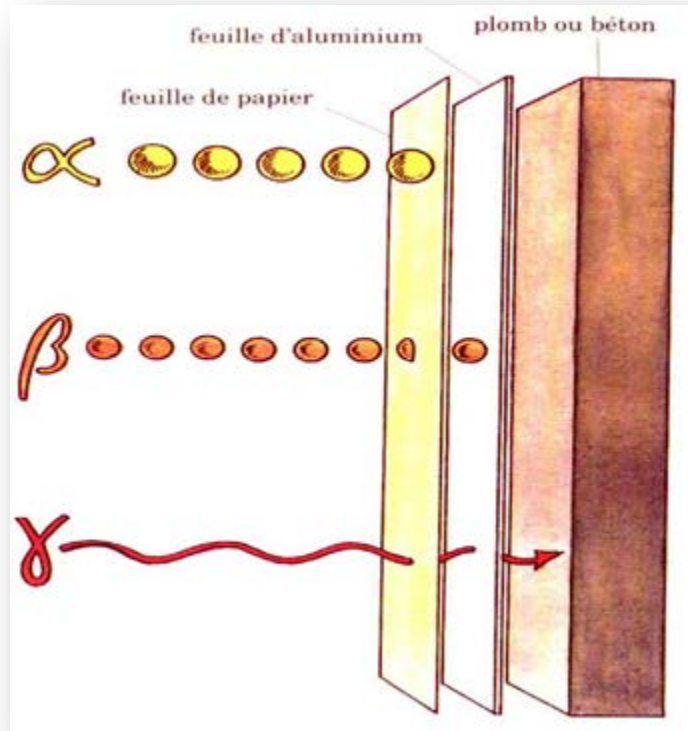


Figure 5- Pénétration du rayonnement dans la matière

1.3.3 Unités utilisées pour le rayonnement radioactif

1.3.3.1 L'énergie

L'énergie des radiations est mesurée en **électron-Volt (eV)**, l'énergie acquise lors de l'accélération d'un électron par une différence de potentiel de 1 Volt. Elle permet de comparer les émissions des isotopes :

- $^3\text{H} = 19 \text{ keV}$
- $^{32}\text{P} = 1\,710 \text{ keV}$

1.3.3.2 L'activité

Elle se mesure par le nombre de désintégrations nucléaires par seconde. Son unité SI est le **Becquerel (Bq)** qui est égal à 1 désintégration/s.

1 kBq (kilobecquerel)	= $1 \times 10^3 \text{ Bq}$
1 MBq (mégabecquerel)	= $1 \times 10^6 \text{ Bq}$
1 GBq (gigabecquerel)	= $1 \times 10^9 \text{ Bq}$
1 TBq (térabecquerel)	= $1 \times 10^{12} \text{ Bq}$

Ancienne unité = *Curie (Ci)*, la radioactivité d'un gramme de radium (37 milliards de désintégrations par seconde).

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq} = 37\,000 \text{ MBq}$$

$$1 \mu\text{Ci} = 37 \text{ kBq}$$

$$1 \text{ mCi} = 37 \text{ MBq}$$

1.3.4 Le concept de la période radioactive

Chaque fois qu'un noyau émet une radiation, il s'est désintégré et a donc disparu. Après 10 demi-vies, il ne reste plus qu'un millième du nombre de noyaux radioactifs initiaux.

Figure 6- Désintégration des noyaux radioactifs : chaque point noir représente un tel noyau.

Le temps nécessaire pour que l'activité d'un élément soit réduite de moitié se nomme demi-vie. Elle diffère pour chaque noyau, de la milliseconde à plusieurs milliards d'années. Plus un noyau a une demi-vie courte, plus il sera radioactif et inversement.

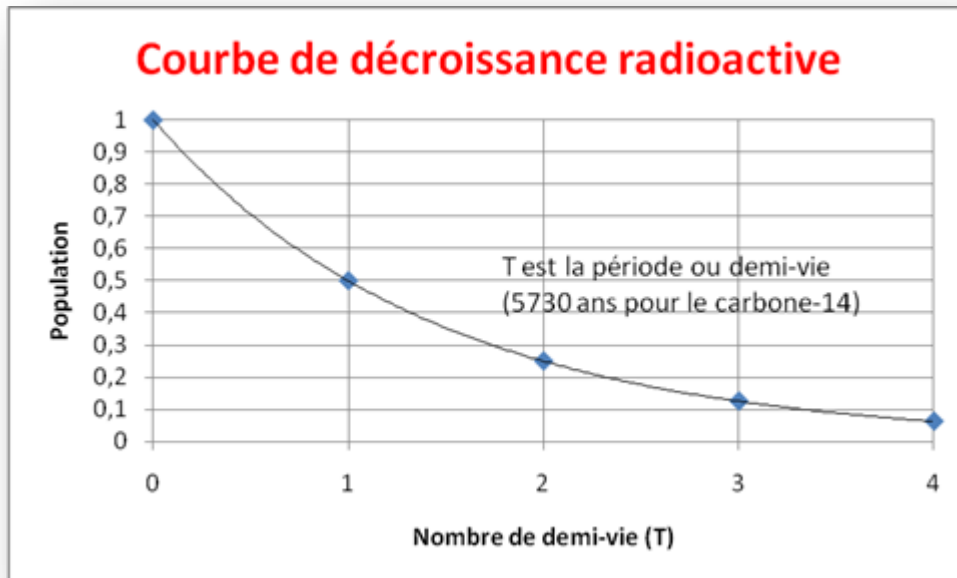


Figure 6 - Courbe de décroissance radioactive et demi-vie.

1.4- Détection et mesure du rayonnement

1.4.1 Détection du rayonnement

1.4.1.1 Détecteurs à l'état gazeux

Le rayonnement ionisant interagit avec le gaz contenu dans une sonde, où règne un champ électrique appliqué par les électrodes. Il perd de l'énergie en ionisant les atomes du gaz

(environ 30 eV par ionisation pour les particules bêta), puis les charges dérivent sous l'action du champ électrique en induisant un courant aux électrodes.

Les détecteurs à gaz peuvent fonctionner selon trois modes : chambre d'ionisation, compteur proportionnel et compteur à décharges (ou compteur Geiger-Müller).

1.4.1.1.1 Compteur Geiger-Müller (GM)

Le compteur Geiger-Müller est une chambre d'ionisation détectant les particules individuelles. C'est un détecteur de particules ionisantes constitué d'un cylindre métallique (cathode) rempli de gaz (mélange de gaz rares) à basse pression. Dans l'axe du tube est tendu un fil conducteur mince et isolé (l'anode) : la tension entre l'anode et la cathode est positive et élevée. Toute particule ionisante est accélérée, sous l'effet de cette tension, et entre en collision avec les atomes du gaz, leur arrachant ainsi des électrons. Le passage d'une particule ionisante dans le compteur déclenche une avalanche électronique (avalanche de Townsend) collectée par le fil qui fournit une impulsion électrique. Ce détecteur permet donc de compter le nombre d'impulsions. Il est utilisé dans les appareils portatifs de détection des rayonnements.

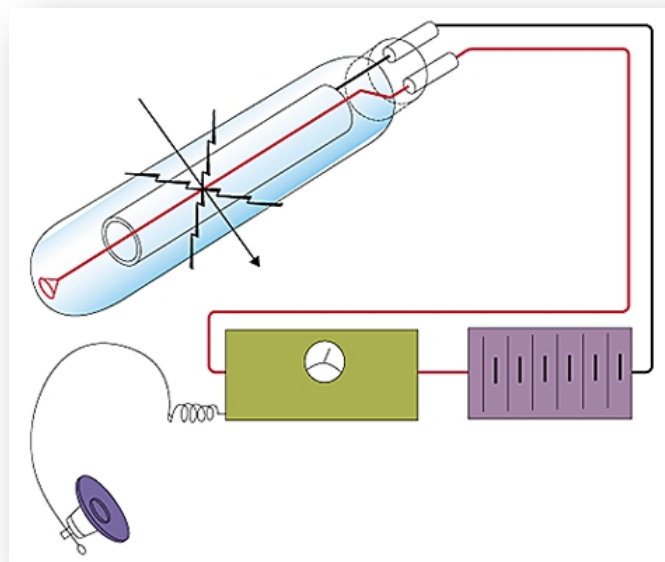


Figure 7 – Schéma de fonctionnement d'un détecteur Geiger-Müller.

Le compteur Geiger-Müller a été introduit en 1913 et est encore aujourd'hui très populaire puisqu'il est facile et peu coûteux à fabriquer. Un autre avantage du Geiger-Müller est sa facilité de manipulation. Il a cependant comme désavantage d'être peu efficace avec les particules bêta de faible énergie, dont le tritium et le carbone 14. Il est aussi très peu efficace avec le rayonnement gamma de basse énergie, comme celui de l'iode-125, car ces types de rayonnement traversent le tube en interagissant peu avec le gaz. De plus, il ne permet pas de mesurer l'énergie du rayonnement, donc de connaître l'isotope émetteur.

Le Geiger-Müller est utilisé pour vérifier une contamination potentielle, surtout d'un isotope émetteur de rayonnement bêta de haute énergie, sur les surfaces ou les objets. Il permet aussi d'avoir une approximation de l'activité d'une source, si sa réponse est compensée pour l'énergie du rayonnement. De plus, il permet de trouver l'origine d'un rayonnement radioactif ou encore d'en suivre le déplacement.



Figure 8- Radiamètre muni de deux sondes Geiger-Müller : sonde de type « pancake », à gauche, de haute sensibilité, et sonde compensée pour l'énergie, à droite, moins sensible mais dont la réponse est plus quantitative.

1.4.1.2 Détecteurs à scintillation

Ces détecteurs sont efficaces avec le rayonnement bêta de basse énergie et avec les rayons gamma. Ils peuvent aussi, dans certains cas, discriminer les énergies associées au rayonnement et donc identifier des isotopes inconnus. Les compteurs gamma, les compteurs à scintillation liquide et les moniteurs pour l'iode 125 fonctionnent sur ce principe.

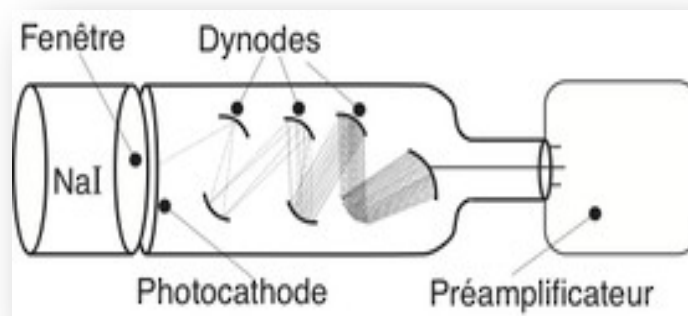


Figure 9- Schéma de fonctionnement d'un détecteur à scintillation basé sur un cristal d'iodure de sodium.

1.4.1.2.1 Détecteur à cristal à l'état solide

Les détecteurs à l'état solide les plus connus sont les détecteurs à cristal, quoique l'on utilise aussi des polymères dans certains appareils. On utilise souvent de l'iodure de sodium avec une petite quantité de thallium. Le cristal est scellé dans un cylindre d'aluminium avec une fenêtre de quartz qui est optiquement couplée à un photomultiplicateur. Ce dernier collecte les photons émis par le cristal et les convertit en un signal électrique qui peut être compté. Les compteurs gamma utilisés pour les essais immunoradiologiques (RIA) sont basés sur ce type de détecteur.

1.4.1.2.2 Le compteur à scintillation liquide

Le compteur à scintillation liquide peut détecter presque tous les isotopes émetteurs de rayonnement alpha, bêta ou gamma. Il est très sensible et permet d'identifier les isotopes inconnus. L'échantillon, liquide ou solide, est mélangé à un liquide à scintillation. Ce liquide est composé d'un solvant et d'un composé scintillant qui joue le même rôle que le cristal des détecteurs solides, c'est-à-dire émettre des photons qui seront captés et amplifiés par un photomultiplicateur, puis comptés.



Figure 10- Compteur à scintillation liquide

Le compteur à scintillation liquide est un moyen très efficace pour détecter les émetteurs bêta de faible énergie mais il peut aussi être utilisé pour détecter la plupart des isotopes. De plus, sa grande sensibilité et sa capacité à compter plusieurs échantillons font du compteur à scintillation liquide un appareil idéal pour la mesure de la contamination. Lors de travaux quantitatifs, il est important de déterminer l'efficacité de comptage de l'appareil avec des standards dont les caractéristiques sont semblables aux échantillons.

1.4.1.3 Détection des neutrons

Les neutrons n'étant pas chargés, ils ne peuvent pas produire directement d'ionisation dans une sonde comme les autres types de rayonnement émis par les substances nucléaires.

Leur détection est cependant possible si une interaction avec un noyau produit une particule détectable par un compteur proportionnel à gaz (He ou BF₃). Les réactions sont les suivantes :

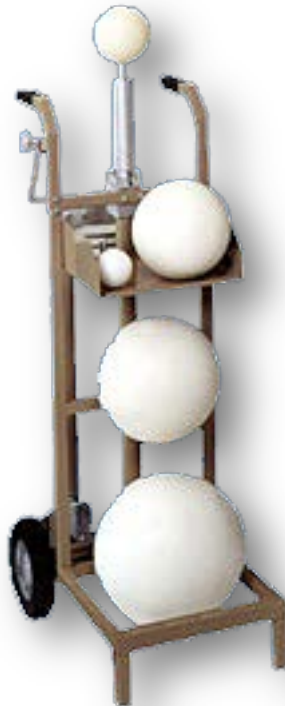
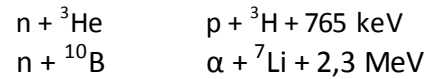


Figure 11 Détecteur à neutrons. Notez la présence de détecteurs sphériques de diamètres variés, pour la détection de neutrons de différentes énergies

1.5- L'exposition au rayonnement

1.5.1 Exposition environnementale

Le rayonnement ionisant a toujours été présent dans l'Univers. Il fait partie des conditions physiques dans lesquelles la vie a évolué sur la Terre. Depuis un peu plus d'un siècle, une exposition

à certaines sources de rayonnement ionisant, causées par l'activité humaine, s'est ajoutée à l'exposition naturelle. Notre exposition personnelle, due autant aux sources naturelles qu'artificielles, est d'environ 3 millisieverts par année. Nous verrons plus loin la définition du Sievert comme unité de dose de rayonnement.

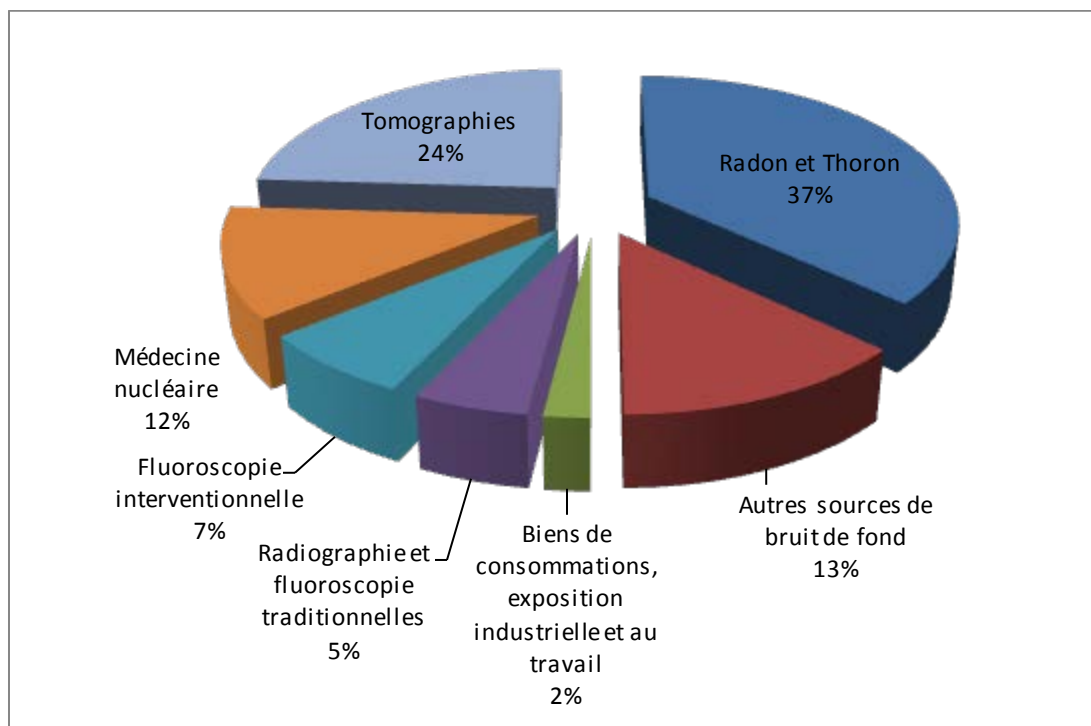


Figure 12- Sources de l'exposition de la population des États-Unis au rayonnement ionisant (2006)
NCRP REPORT No. 160, 2009

Le rayonnement naturel, qui compte pour environ la moitié de notre exposition, vient principalement du radon, du rayonnement terrestre (uranium et thorium), du rayonnement cosmique et des radio-isotopes que nous ingérons par l'eau et les aliments.

Le rayonnement dû à des causes artificielles vient en très grande partie des expositions médicales, radiographies et autres techniques diagnostiques ou thérapeutiques. Un pourcentage plus modeste vient des autres types d'activités industrielles, militaires ou de recherche.

1.5.2 Mise en perspective du risque posé par l'exposition au rayonnement par rapport à d'autres risques de la vie de tous les jours.

**Nombre moyen de journées de vie en moins
en relation à divers facteurs**

Être un homme célibataire	3500
Fumer (1 paquet par jour)	2250
Être une femme célibataire	1600
Être un mineur de charbon	1100
Avoir un excès de poids de 25%	777
Abuser de l'alcool (moyenne des EU)	365
Être un travailleur de la construction	227
Conduire un véhicule	207
Toutes les industries	60
Rayonnement : 1 mSv/an x 70 ans	10
Café	6

Référence: Cohen BL (1991) Health Physics 61:317-335.

MODULE 2
 PROPRIÉTÉS DES RADIO-ISOTOPES

2.1 Les principaux radio-isotopes utilisés comme sources non scellées

Isotope	Demi-vie	Rayonnement	Énergie maximale (keV)	LAI par ingestion (MBq)	Dosimètre	Blindage	Méthodes pour la détection (* = méthodes préférées)
H-3	12,3 a	β^-	19	1000	non	aucun	Scintillation liquide*
C-14	5730 a	β^-	156	30	non	aucun	Scintillation liquide* Sonde Geiger
P-32	14,3 j	β^-	1710	8	oui	acrylique	Scintillation liquide* Sonde Geiger*
P-33	25 j	β^-	250	80	non	aucun	Scintillation liquide* Sonde Geiger
S-35	87,4 j	β^-	167	26	non	aucun	Scintillation liquide* Sonde Geiger
I-125	60,1 j	χ, γ	27-35	1	Oui	plomb	Sonde NaI*, Compteur gamma*, Scintillation liquide*

Tableau 1 : Synthèse des propriétés des radio-isotopes les plus utilisés comme sources ouvertes dans les laboratoires de l'Université Laval

2.1.1 Hydrogène 3 (Tritium)

Quantité d'exemption¹ : 1×10^9 Bq (Un permis de la CCSN n'est pas exigé si la quantité de radionucléide en mains est inférieure à la quantité d'exemption)

Caractéristiques physiques

- Demi-vie : 12,35 ans.
- Rayonnement : particules bêta avec une énergie maximale de 18,6 keV et une énergie moyenne de 5,7 keV.
- Distance maximale du rayonnement : 4,7 mm dans l'air et 0,006 mm dans un tissu vivant.
- Fraction transmise à travers la couche cornée de la peau : aucune.

Dose et blindage

- Débit de dose à la peau à 10 cm : aucun.
- Débit de dose aux cellules basales de l'épiderme provenant d'une contamination de la peau de 37 MBq/cm² : aucun.
- Blindage : aucun n'est nécessaire.
- Limite annuelle d'incorporation par ingestion (LAI²) : 1000 MBq. L'ingestion de 1 LAI donne une dose de 20 mSv.

Détection

Le comptage par scintillation liquide. La plupart des sondes Geiger ne détectent pas le tritium.

Précautions

Une contamination au tritium ne peut pas être détectée avec un radiamètre muni d'une sonde Geiger. Des précautions sont donc nécessaires pour éviter la contamination de l'environnement de travail, incluant des frottis réguliers et l'utilisation du compteur à scintillation.

¹ Voir annexe 9.

² LAI : limite annuelle d'incorporation. L'ingestion de cette limite provoque une dose au corps entier de 20 mSv, soit la limite annuelle pour les travailleurs du secteur nucléaire. Note : la limite annuelle de dose est de 1 mSv par année pour les autres personnes.

2.1.2 Carbone 14

Quantité d'exemption : 1×10^7 Bq

Caractéristiques physiques

- Demi-vie : 5 730 ans
- Rayonnement : particules bêta avec une énergie maximale de 156 keV et une énergie moyenne de 49 keV.
- Distance maximale du rayonnement : 22 mm dans l'air et 0,027 mm dans un tissu vivant.
- Fraction transmise à travers la couche cornée de la peau : 0,11

Dose et blindage

- Débit de dose à la peau à 10 cm : 60 μ Gy/h/37 MBq pour une source ponctuelle non blindée (37 MBq = 1 mCi).
- Débit de dose aux cellules basales de l'épiderme provenant d'une contamination de la peau de 37 MBq/cm² : 1,4 mGy/h.
- Blindage : aucun n'est nécessaire avec les activités normalement manipulées dans les laboratoires de recherche.
- Limite annuelle d'incorporation par ingestion (LAI) : 30 MBq. L'ingestion de 1 LAI donne une dose de 20 mSv.

Détection

Le comptage par scintillation liquide est la méthode de choix pour la détection du carbone-14. La plupart des sondes Geiger détectent le carbone 14 avec une faible efficacité en présence d'au moins 100 000 dpm (désintégrations par minute, ou environ 200 Bq).

Précautions

Une contamination au carbone 14 de faible niveau ne peut pas être détectée facilement avec un radiamètre muni d'une sonde Geiger. Des précautions sont donc nécessaires pour éviter la contamination de l'environnement de travail, incluant des frottis réguliers et l'utilisation du compteur à scintillation.

2.1.3 Phosphore 32

Quantité d'exemption : 1×10^5 Bq

Caractéristiques physiques

- Demi-vie : 14,3 jours.
- Rayonnement : particules bêta avec une énergie maximale de 1,71 MeV et une énergie moyenne de 0,7 MeV.
- Distance maximale du rayonnement : 620 cm dans l'air, 0,8 cm dans un tissu vivant et 0,6 cm dans du Plexiglas.
- Fraction transmise à travers la couche cornée de la peau : 0,95.

Dose et blindage

- Débit de dose à la peau à 10 cm : 400mGy/h/37 MBq pour une source ponctuelle non blindée (37 MBq = 1 mCi). Débit de dose à 1 m : 9,17 mSv/h/GBq.
- Débit de dose aux cellules basales de l'épiderme provenant d'une contamination de la peau de 37 MBq/cm² : 92 mGy/h.
- Blindage : 1 cm d'acrylique (Plexiglas) arrête tout le rayonnement bêta du P-32. Pour les sources de plus de 100 MBq, il peut être avantageux d'ajouter une feuille de plomb à l'extérieur du blindage de plastique pour atténuer les rayons X de freinage (Bremmstrahlung).
- Limite annuelle d'incorporation par ingestion (LAI) : 8 MBq. L'ingestion de 1 LAI donne une dose de 20 mSv.

Détection

Un radiamètre portatif muni d'une sonde Geiger détecte efficacement le rayonnement du P-32. Le comptage en scintillation liquide demeure cependant une bonne méthode pour mesurer la contamination des surfaces.

Précautions

Il est possible de recevoir localement de hautes doses à la peau en manipulant des quantités de 50 MBq ou plus de P-32. Réduisez ce risque en portant des lunettes protectrices et en utilisant des pinces pour manipuler les sources concentrées. Utilisez toujours un blindage de plastique devant les aires de travail et d'entreposage, ainsi que les contenants. Contrôlez souvent l'aire de travail, vos vêtements et votre personne.

2.1.4 Phosphore 33

Quantité d'exemption : 1×10^8 Bq

Caractéristiques physiques

- Demi-vie : 25,3 jours.
- Rayonnement : particules bêta avec une énergie maximale de 249 keV et une énergie moyenne de 76 keV.
- Distance maximale du rayonnement : 45 cm dans l'air et 0,06 cm dans un tissu vivant.
- Fraction transmise à travers la couche cornée de la peau : 0,35.

Dose et blindage

- Débit de dose à la peau à 10 cm : 20mGy/h/37 MBq pour une source ponctuelle non blindée (37 MBq = 1 mCi).
- Débit de dose aux cellules basales de l'épiderme provenant d'une contamination de la peau de 37 MBq/cm² : 45 mGy/h.
- Blindage : aucun n'est nécessaire avec les activités normalement manipulées dans les laboratoires de recherche.
- Limite annuelle d'incorporation par ingestion (LAI) : 80 MBq. L'ingestion de 1 LAI donne une dose de 20 mSv.

Détection

Le comptage par scintillation liquide est la méthode de choix pour la détection du phosphore-33. La plupart des sondes Geiger détectent le phosphore-33 avec une efficacité moyenne à faible en présence d'au moins 100 000 dpm (désintégrations par minute, ou environ 200 Bq).

Précautions

Une contamination au phosphore 33 de faible niveau ne peut pas être détectée facilement avec un radiamètre muni d'une sonde Geiger. Des précautions sont donc nécessaires pour éviter la contamination de l'environnement de travail, incluant des frottis réguliers et l'utilisation du compteur à scintillation.

2.1.5 Soufre 35

Quantité d'exemption : 1×10^8 Bq

Caractéristiques physiques

- Demi-vie : 87,5 jours.
- Rayonnement : particules bêta avec une énergie maximale de 167 keV et une énergie moyenne de 49 keV.
- Distance maximale du rayonnement : 24 cm dans l'air et 0,03 cm dans un tissu vivant.
- Fraction transmise à travers la couche cornée de la peau : 0,12.

Dose et blindage

- Débit de dose à la peau à 10 cm: 6,25mGy/h/37 MBq pour une source ponctuelle non blindée (37 MBq = 1 mCi).
- Débit de dose aux cellules basales de l'épiderme provenant d'une contamination de la peau de 37 MBq/cm² : 15 mGy/h.
- Blindage : aucun n'est nécessaire avec les activités normalement manipulées dans les laboratoires de recherche.
- Limite annuelle d'incorporation par ingestion (LAI) : 26 MBq. L'ingestion de 1 LAI donne une dose de 20 mSv.

Détection

Le comptage par scintillation liquide est la méthode de choix pour la détection du soufre-35. La plupart des sondes Geiger détectent le soufre-35 avec une efficacité moyenne à faible en présence d'au moins 100 000 dpm (désintégrations par minute, ou environ 200 Bq).

Précautions

Une contamination au soufre 35 de faible niveau ne peut pas être détectée facilement avec un radiamètre muni d'une sonde Geiger. Des précautions sont donc nécessaires pour éviter la contamination de l'environnement de travail, incluant des frottis réguliers et l'utilisation du compteur à scintillation.

Les composés contenant de la méthionine ou de la cystéine marquée au S-35 peuvent se volatiliser. Les solutions stock et les solutions décongelées doivent être ouvertes sous la hotte. Utiliser du charbon activé dans les incubateurs pour piéger le S-35 volatil.

2.1.6 Iode 125

Quantité d'exemption : 1×10^6 Bq

Caractéristiques physiques

- Demi-vie : 60,1 jours.
- Rayonnement : les émissions principales sont un rayonnement gamma de 35 keV et des rayons X de 27 à 32 keV
- Épaisseur de demi-atténuation : 0,02 mm de plomb et 2 cm dans un tissu.
 - L'épaisseur de demi-atténuation est l'épaisseur d'un matériau requise pour diminuer l'intensité du rayonnement de 50%.

Dose et blindage

- Débit de dose à la peau à 10 cm : 0,15mGy/h/37 MBq pour une source ponctuelle non blindée (37 MBq = 1 mCi).
- Blindage : Feuille mince de plomb pour des quantités de l'ordre de 10 MBq ou plus. Aucun blindage n'est nécessaire avec les activités normalement retrouvées dans les trousseaux de radio-immuno essais (RIA; de l'ordre de 100 kBq ou moins).
- Limite annuelle d'incorporation (LAI) : 2 MBq par inhalation ou 1 MBq par ingestion. L'inhalation ou l'ingestion de 1 LAI donne une dose de 20 mSv.

Détection

Un détecteur muni d'une sonde à scintillation (cristal d'iodure de sodium) est la méthode de choix pour la détection de l'iode 125. La plupart des sondes Geiger détectent l'iode 125 avec une efficacité faible en présence d'au moins 100 000 dpm (désintégrations par minute, ou environ 200 Bq). La mesure se fait dans un compteur gamma ou un compteur à scintillation.

Précautions

L'iode volatil peut être libéré des composés iodés contenant plus de 5 MBq d'iode 125. Les contenants devraient toujours être ouverts sous la hotte. Le port de deux paires de gants est particulièrement recommandé. Les protocoles comportant l'iodation de protéines doivent être approuvés par votre responsable de la radioprotection et les personnes doivent se soumettre à un programme de surveillance thyroïdienne.

2.2 Utilisations des sources scellées à l'Université Laval

- Sources expérimentales de grande activité
 - Am-241, Am-241/Be
- Sources d'étalonnage de faible activité
 - Nombreux isotopes : Cd-109, Cs-137, Na-22, Co-57, etc.
- Appareils à rayonnement
 - Irradiateurs gamma (Co-60, Cs-137)
 - Jauges de densité ou d'humidité (Cs-137, Am-241/Be)
 - Détecteurs de capture d'électrons (Ni-63)
 - Compteurs à scintillation (Cs-137, Eu-152, Ra-226, Ba-133)
 - Éliminateurs d'électricité statique (Po-210)

2.3 Principaux radio-isotopes utilisés sous forme de sources radioactives scellées

2.3.1 Cobalt 60

Quantité d'exemption : 1×10^5 Bq

- Utilisations : irradiateur, sources d'étalonnage
- Demi-vie : 5,27 ans
- Rayonnement principal : γ de 1,3 MeV
- Taux d'irradiation : 370 μ Sv/h/GBq à 1m.
- Blindage : l'épaisseur de demi-atténuation est 1,2 cm de plomb
- Détection : radiamètre avec sonde Geiger compensée pour l'énergie
- Dosimétrie au corps requise.

2.3.2 Nickel 63

Quantité d'exemption : 1×10^8 Bq

- Utilisations : détecteurs de capture d'électrons
- Demi-vie : 100,1 ans
- Rayonnement principal : β^- de 65,9 keV
- Taux d'irradiation : 228 mSv/GBq à 1m.
- Blindage : aucun
- Détection : radiamètre avec sonde Geiger à fenêtre mince, compensée pour l'énergie
- Dosimétrie non requise

2.3.3 Césium 137

Quantité d'exemption : 1×10^4 Bq

- Utilisations : jauges portatives, compteurs à scintillation
- Demi-vie : 30,22 ans
- Rayonnement principal : γ de 662 keV
- Taux d'irradiation : 103 $\mu\text{Sv/h/GBq}$ à 1m.
- Blindage : l'épaisseur de demi-atténuation est 0,65 cm de plomb
- Détection : radiamètre avec sonde Geiger compensée pour l'énergie
- Dosimétrie au corps peut être requise

2.3.4 Américium 241

Quantité d'exemption : 1×10^4 Bq

- Utilisations : détecteurs de fumée, sources expérimentales
- Demi-vie : 432,2 ans
- Rayonnements principaux : α de 5,5 MeV ; γ de 59 keV,
- Taux d'irradiation : 85 $\mu\text{Sv/h/GBq}$ à 1m (dû au γ)
- Blindage : l'épaisseur de demi-atténuation est 0,01 cm de plomb pour le γ
- Détection : radiamètre avec sonde Geiger compensée pour l'énergie
- Dosimétrie au corps peut être requise

2.3.5 Américium 241/Be

Quantité d'exemption : 1×10^4 Bq

- La présence de Béryllium permet de produire des neutrons
- Utilisations : jauges, sources expérimentales
- Demi-vie : 432,2 ans
- Rayonnement supplémentaire : neutrons de 4,5 MeV
- Taux d'irradiation supplémentaire : 2 $\mu\text{Sv/h/GBq}$ à 1m
- Blindage : l'épaisseur de demi-atténuation est 6,6 cm de paraffine solide
- Détection : détecteur proportionnel BF_3 pour les neutrons seulement
- Dosimétrie au corps et des neutrons peut être requise

2.3.6 Polonium 210

Quantité d'exemption : 1×10^4 Bq

- Utilisations : éliminateurs d'électricité statique
- Demi-vie : 138 jours
- Rayonnement: alpha de 5,3 MeV; gamma de 803 keV (moins de 1% des désintégrations)
- Taux d'irradiation: $1,42 \times 10^9$ mSv/h/MBq à 1 mètre
- Blindage : l'épaisseur de demi-atténuation est 11 mm de plomb pour le rayonnement gamma
- Détection : sonde Geiger (détecte le rayonnement gamma)
- Dosimétrie non requise pour les éliminateurs d'électricité statique

MODULE 3

IONISATION ET DOSES

3.1- L'ionisation de la matière

Un rayonnement est ionisant quand il possède l'énergie nécessaire pour arracher des électrons aux atomes du milieu irradié. C'est le cas des rayonnements alpha et bêta, des rayons X et gamma ainsi que des neutrons.

3.1.1 L'ionisation alpha et bêta

Le déplacement des particules alpha ou bêta chargées crée un fort champ électromagnétique et permet à ces dernières d'arracher des électrons aux atomes. Les particules alpha créent environ 50 000 paires d'ions par centimètre parcouru dans l'air, tandis que les particules bêta n'en créent qu'environ 100 paires. Ces particules subissent donc une perte d'énergie tout au long de leur parcours. Cette perte d'énergie par unité de longueur se nomme le **Transfert d'Énergie Linéique** (TEL). Plus la perte d'énergie de la particule est importante, plus la distance parcourue par cette dernière sera courte, entraînant cependant une ionisation plus intense de la zone traversée.

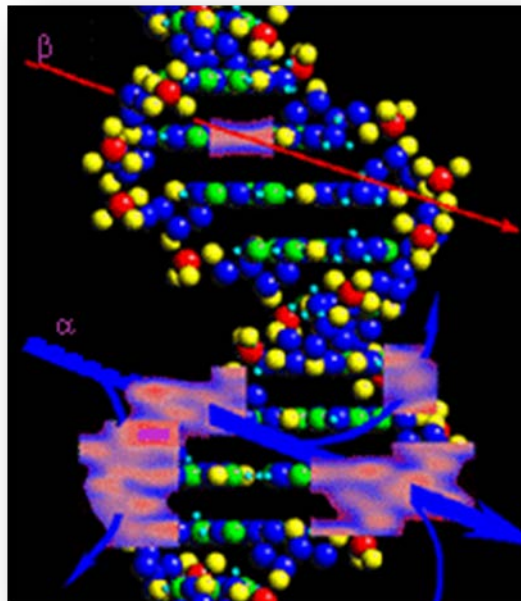


Figure 13- Représentation du transfert d'énergie linéique à une molécule d'ADN dû au rayonnement bêta ou alpha.

3.1.2 L'ionisation gamma

Le rayonnement gamma n'est pas porteur de charge électrique. Il n'a pas d'interaction coulombienne avec le cortège électronique du milieu traversé. Il suit d'abord un chemin rectiligne sans perte d'énergie, puis, quand il rencontre sur sa trace une particule (électron, noyau), il va faire une interaction modifiant profondément son état :

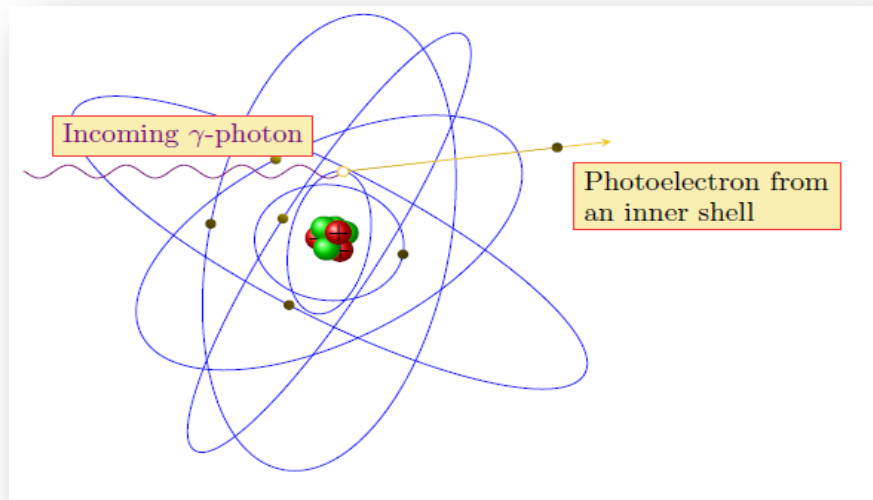


Figure 14- À faible énergie, c'est l'effet photoélectrique qui domine. À l'occasion de ce type d'interaction, le photon incident perd toute son énergie et déloge un électron de l'atome impliqué.

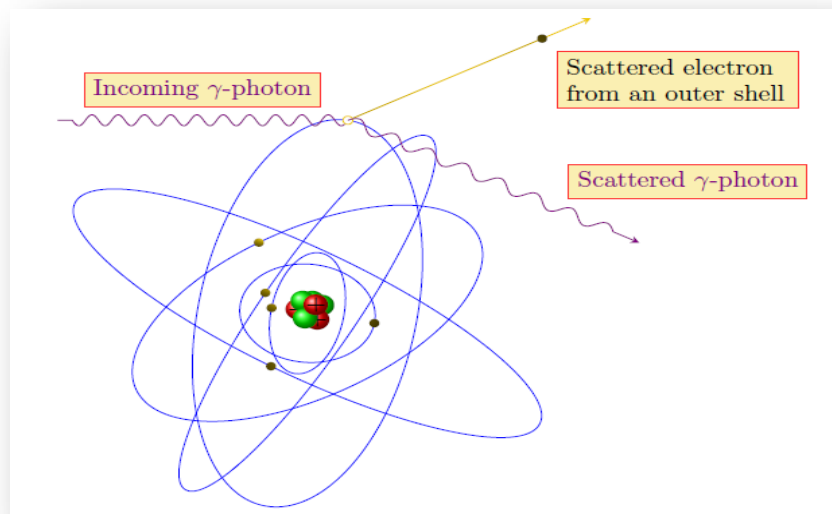


Figure 15- Quand le rayonnement gamma a une énergie moyenne, c'est l'effet Compton qui domine. Avec ce type d'interaction, le photon incident perd une partie énergie pour déloger l'électron. En plus de celui-ci, on observe un nouveau photon de plus faible énergie.

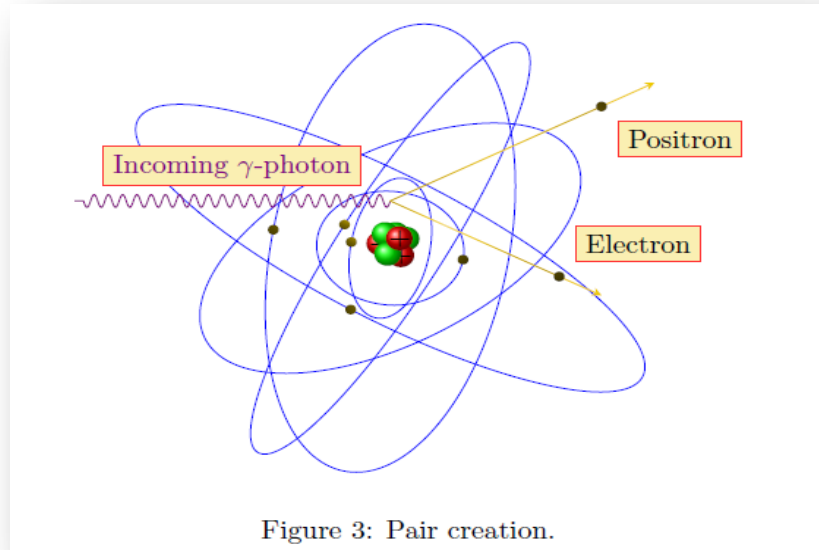


Figure 16- Avec les rayonnements gamma de haute énergie, l'effet dominant est la création de paires. On obtient deux nouvelles particules, un électron et un positron.

3.2- Sources de radio exposition

3.2.1 Dangers d'irradiation externe

Une irradiation externe provient d'une source située à l'extérieur du corps. Les rayons X, les rayons gamma et les particules bêta de haute énergie (comme le ^{32}P) sont des radiations pénétrantes présentant un danger d'irradiation externe. Les particules alpha représentent peu de danger à ce niveau car elles sont arrêtées par la couche cornée de la peau.

3.2.2 Dangers d'irradiation interne

L'irradiation interne provient de substances radioactives qui pénètrent dans le corps, soit naturellement, par l'alimentation, ou par contamination. La matière radioactive est souvent incorporée chimiquement dans le corps humain, les isotopes radioactifs ayant les mêmes propriétés chimiques que les isotopes stables. Les radionucléides s'intègrent donc dans le métabolisme du corps humain.

3.3- Les doses de rayonnement

3.3.1 La dose absorbée

Définition : La dose absorbée représente la quantité d'énergie de rayonnement absorbée par unité de masse du tissu irradié.

Unité : Dans le système international (SI), on utilise le GRAY (Gy), ce dernier ayant remplacé le RAD (rad).

$$1 \text{ Gray} \equiv 1 \text{ J/Kg} = 100 \text{ rads}$$

→ Il est important de noter que la dose absorbée ne dépend pas du type de rayonnement ionisant mais dépend seulement de l'énergie de ce rayonnement.

3.3.2 La dose équivalente

Définition : L'absorption d'une dose de rayonnement par une substance vivante peut provoquer un effet biologique dont l'ampleur dépend du type de rayonnement en cause (alpha, bêta, gamma, neutrons). Un **facteur de pondération** est donc attribué à chaque type de rayonnement en fonction de sa capacité pour causer des dommages biologiques. En multipliant la dose absorbée par le facteur de pondération, on obtient l'**équivalent de dose**.

Unité : Le système international utilise le **SIEVERT (Sv)** pour exprimer l'équivalent de dose. Auparavant, on utilisait plutôt le **REM**.

$$1 \text{ Sievert} = 100 \text{ rems}$$

Types de rayonnement	Facteur de pondération
Rayons X, gamma et bêta	1
Particules alpha	20
Neutrons	5 à 20 selon l'énergie

Tableau 2 : Facteurs de pondération pour l'établissement des doses équivalentes

→ Un tableau de conversion des unités de mesure est disponible à l'**annexe 1**.

3.3.3 La dose efficace

Définition : Certains tissus sont plus sensibles aux rayonnements que d'autres. Pour en tenir compte, la dose équivalente est multipliée par un *facteur de pondération tissulaire*. Ce facteur dépend non seulement de la radiosensibilité de chaque organe, mais aussi de la gravité (donc de la mortalité) des cancers radio induits.

Unité : Le **Sievert (Sv)** est utilisé en tant qu'unité de rayonnement mais également en tant qu'unité biologique.

Organes ou tissus	Facteurs
Organes reproducteurs	0,20
Moelle osseuse rouge	0,12
Côlon	0,12
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Vessie	0,05
Sein	0,05
Foie	0,05
Œsophage	0,05
Glande thyroïde	0,05
Peau	0,01
Surface des os	0,01
Autres	0,05
Corps entier (somme)	1,00

Tableau 3 : Facteurs de pondération tissulaire

Les tissus les plus sensibles sont ceux dont la division cellulaire est rapide, comme la moelle osseuse, la peau et la muqueuse intestinale. Les cellules sexuelles sont elles aussi très radio sensibles. Chez la femme, comme il n'y a pas de nouvelles productions d'ovules au courant de la vie, toutes les modifications faites à l'ADN s'accumulent sur les mêmes cellules.

3.3.4 Mesure de la dose

Dosimètre à luminescence stimulée optiquement (LSO) et dosimètres thermoluminescents (DTL)

On utilise des dosimètres LSO pour mesurer la dose totale reçue durant une période donnée. Ils peuvent mesurer la dose reçue à la peau ou au corps. Pour les doses reçues aux mains, on utilise des dosimètres DTL en forme de bague.



Figure 17- Dosimètre LSO et dosimètre bague DTL.

Ces dosimètres mesurent la dose totale pour une période donnée, mais non le débit de cette dose. Le port d'un dosimètre permet donc de déceler les défaillances de la technique de travail et d'y apporter des améliorations pour éviter une exposition future.

La lecture des dosimètres est effectuée par le service de dosimétrie de Santé-Canada tous les trois mois (tous les mois pour les dosimètres bagues). Les dosimètres des femmes enceintes sont lus toutes les deux semaines. Santé Canada conserve les données dans le Registre national de dosimétrie.

Le dosimètre LSO, appelé « InLight », possède un détecteur formé par une mince pastille d'oxyde d'aluminium dopé au carbone. Les atomes de carbone ont la capacité de piéger des électrons du cristal avec l'appoint d'énergie apporté par les rayonnements ionisants qui traversent le cristal. Le nombre d'électrons piégés est en proportion de la dose reçue. La lecture s'effectue en envoyant sur la poudre cristalline, qui est transparente, un bref flash de lumière. Du fait de l'excitation lumineuse, des électrons piégés par les atomes de carbone se libèrent et restituent l'énergie qu'ils emmagasinaient sous la forme d'une impulsion de lumière, une luminescence. C'est cette impulsion de lumière, dont l'intensité est proportionnelle au nombre d'électrons piégés donc à la dose, que l'on mesure.

Le DTL, pour sa part, est formé d'un cristal de fluorure de lithium dopé. Il doit être chauffé pour libérer cette énergie sous forme de photons que l'on peut mesurer.

Il existe d'autres types de dosimètres pour mesurer les doses dues aux neutrons ou celles qui sont reçues par inhalation, entre autres.

MODULE 4

EFFETS BIOLOGIQUES

4.1- Types d'effets

De nombreuses études ont été effectuées au sujet des effets du rayonnement ionisant sur les organismes vivants. Des observations ont eu pour sujets les individus et les populations humaines exposés lors d'opérations belliqueuses (Hiroshima et Nagasaki) ou d'accidents industriels (Tchernobyl et autres), ou bien exposés à des doses élevées de rayonnement dans le cadre d'une radiothérapie, par exemple. D'autres études ont été faites sur des organismes divers, notamment chez les animaux, dans divers laboratoires de radiobiologie. Ces travaux ont permis de distinguer deux principaux types d'effets :

Les effets déterministes, dits « non-stochastiques ». Ils sont cliniquement observables au-delà d'un certain seuil de dose. Au-delà de celui-ci, on observe une relation entre la dose et la sévérité des effets.

Les effets stochastiques, qui se produisent selon une certaine probabilité. On n'observe pas de seuil sous lequel on peut affirmer que ces effets n'auront pas lieu. On observe par contre une relation linéaire entre la dose reçue et la réponse observée. Les conséquences reliées à ce type d'effet sont latentes pour un temps plus ou moins long avant de se manifester, le plus souvent sous forme de cancers ou d'anomalies génétiques.

On peut aussi distinguer entre les effets somatiques, qui se produisent sur l'individu exposé, soit immédiatement dans le cas des effets déterministes ou après un délai qui peut atteindre plusieurs années, dans le cas des effets stochastiques et les effets génétiques, qui sont héréditaires et donc toujours stochastiques.

4.2- Conséquences moléculaires d'une irradiation

Les effets d'une irradiation d'un organisme vivant sont variables. À la suite d'une lésion dans une macromolécule d'**ADN**, trois conséquences sont possibles :

- **Réparation exacte** ayant comme conséquence la survie de la cellule. Il n'y a donc pas d'effet sur l'organisme.
- **Absence totale de réparation**. La cellule meurt; on observe alors une nécrose. Il en résulte une pathologie tissulaire si beaucoup de cellules sont détruites (effet déterministe).
- **Réparation incorrecte**. La conséquence peut être une mutation dans l'ADN. La cellule portant cette mutation, si elle n'est pas éliminée par le système immunitaire, peut provoquer un effet stochastique somatique sous forme de cancer ou héréditaire sous forme d'une anomalie héréditaire, selon le type de cellules touchées (somatiques ou sexuelles).

4.3- Effets déterministes

Les effets déterministes, qui sont des effets *somatiques à court terme*, sont la conséquence de doses élevées de rayonnements (accident ou traitement médical). Ils résultent d'une trop grande perte de cellules dans un tissu, causant sa mort. La gravité des effets déterministes augmente avec la dose, à partir d'un certain seuil. Exemples d'effets : érythèmes, vomissements, perte des cheveux.

Organe ou structure	Dose
Chromosomes: aberrations *	~ 0,2 Sv
<i>* Peuvent être l'indice d'un effet stochastique à venir</i>	
Moelle osseuse : déplétion des cellules sanguines	1-3 Sv
Ovaires ou testicules : stérilisation	2-6 Sv
<i>Corps entier : dose létale (LD_{50/60})</i>	<i>3 à 5 Gy</i>
Peau : érythème ou dépilation	~5 Sv
Peau : desquamation	20 Sv
CNS : troubles chez les enfants	10 Sv
Reins: défaillance	25 Sv
Cœur: péricardite	40 Sv
Thyroïde, hypophyse: défaillance	45 Sv

Tableau 4 : effets déterministes observés selon les doses reçues

Irradiation générale à forte dose

Les premiers tissus touchés sont la moelle osseuse et les muqueuses digestives. Conséquences : modifications dans la formule sanguine (baisse du nombre de plaquettes) et troubles digestifs (nausées, vomissements).

Irradiation partielle à forte dose

Effets variables en fonction de l'organe irradié. Les plus sensibles sont les glandes génitales, la peau, les yeux, la thyroïde, les poumons et les muqueuses digestives.

Facteurs qui déterminent l'effet d'une dose

- Partie du corps exposée
- Superficie de la partie du corps exposée
- Âge de la personne
- Variations biologiques d'une personne à l'autre

4.4- Effets stochastiques

Les effets stochastiques (c'est-à-dire aléatoires) proviennent de l'altération génétique de cellules fonctionnelles qui, malgré leur modification, sont en mesure de se reproduire et éventuellement causer :

- Cancers, des années voire des dizaines d'années plus tard (*effet somatique à long terme*);
- Effets héréditaires (ou *effets génétiques*), comme des malformations ou des maladies chez la descendance, lors de mutations des cellules germinales. Il est à noter que cet effet n'a jamais été observé dans les populations humaines, mêmes celles qui ont été exposées à de fortes doses de rayonnement. Il a été observé exclusivement chez des animaux dans le cadre d'expériences.

Ces effets font suite à une irradiation à des doses plus faibles. La probabilité d'obtenir ces effets augmentent de façon linéaire avec la dose de rayonnements à laquelle le sujet a été exposé. Cependant, la gravité des effets est indépendante de la dose. On considère qu'il n'y a pas de seuil minimal auquel les effets ne se font pas sentir et aucun mécanisme de réparation. La communauté scientifique est cependant divisée sur ce point, très difficile à démontrer par des études épidémiologiques étant donné le nombre élevé de cancers résultant de causes autres que le rayonnement chez les populations humaines.

Effets somatiques : court terme par opposition à long terme

On observe des effets somatiques à court terme (*déterministes*) à la suite d'une courte exposition à des doses élevées.

Sur 86 572 survivants d'Hiroshima et de Nagasaki, 334 étaient décédés jusqu'en 1990 en raison des cancers radio induits. Une augmentation significative a été observée pour une dose supérieure à 50 mSv.

Les effets à long terme (*stochastiques*) résultent plutôt d'une exposition prolongée à une source de radiation, surtout chez les gens qui sont constamment à proximité d'une source de rayonnements, sans les précautions nécessaires.

L'induction de cancer fait partie des phénomènes à long terme, puisque les lignées cellulaires mutées survivantes à une irradiation ont besoin de subir d'autres mutations, elles aussi aléatoires, avant de développer un phénotype cancéreux.

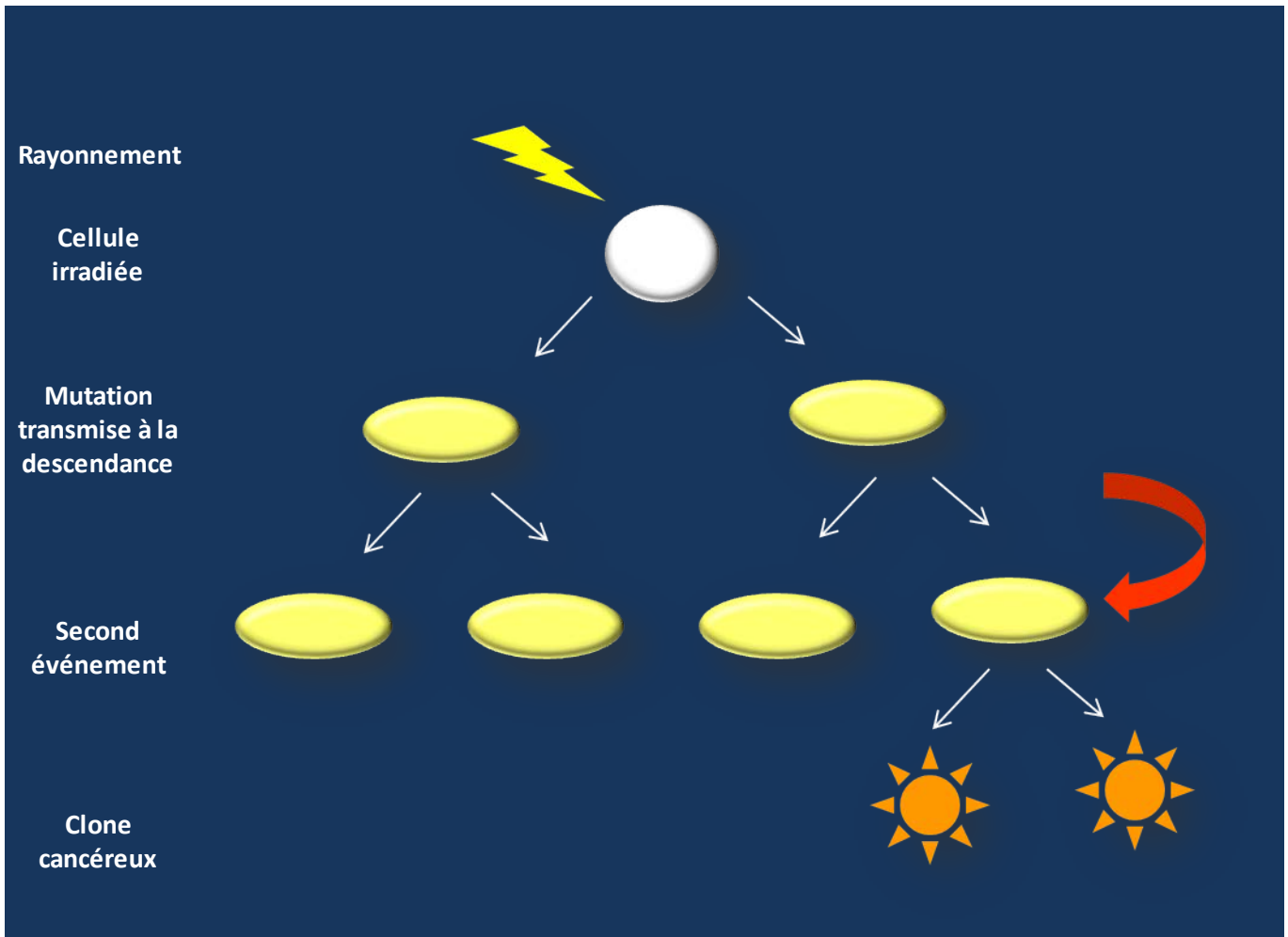


FIGURE 18 : Schéma de l'induction d'un cancer dans une lignée cellulaire

Module 5

Les femmes enceintes et la radioactivité

5.1- Les modes d'exposition du fœtus

Dans son milieu de travail, la travailleuse enceinte peut être exposée de manière directe ou indirecte aux rayonnements. L'irradiation de la mère, du fœtus ou même du père peut potentiellement entraîner des effets sur l'enfant à naître. Les expositions aux rayonnements peuvent résulter soit de l'irradiation ou de la contamination interne d'un parent avant la conception, transmise ultérieurement au fœtus (**l'effet génétique**); soit de l'irradiation directe de la mère et du fœtus par pénétration du rayonnement à travers les vêtements et l'abdomen, ou de la contamination du fœtus via celle de la mère durant la grossesse (**l'effet tératogène**).

5.1.1 Effet génétique

Lorsque l'ADN d'une cellule reproductrice est affecté, il peut devenir une source d'anomalie génétique. Si cette cellule est fécondée, l'anomalie génétique peut provoquer un avortement précoce. Sinon, la grossesse peut se maintenir et aboutir à la naissance d'un enfant porteur de malformations congénitales.

Cet effet n'a pas été démontré chez l'humain. Mais à partir de données obtenues chez d'autres espèces, on croit qu'il existe une relation linéaire entre la dose d'irradiation et la fréquence des maladies génétiques. Le taux naturel d'anomalies est de 7,29% (72 900 pour un million de naissances); ce nombre serait théoriquement augmenté à 7,305% (73 050 pour un million de naissances) à la suite d'une dose aux gonades de 100 mGy, soit une dose équivalente à 100 radiographies pelviennes.

5.1.2 Effets tératogènes

Les effets varient en fonction du stade de développement du fœtus, mais un retard de croissance peut apparaître à la suite d'une irradiation, à peu près à toutes les phases de la grossesse. Le seuil de la dose est d'environ 200 mGy.

1. **Période de pré implantation (6^e-9^e jour).** Les cellules sont indifférenciées et totipotentes. En cas d'exposition à une dose élevée (seuil \approx 100 mGy), il y a mort cellulaire et avortement passant inaperçu, ou une grossesse normale.
2. **Embryogenèse (jusqu'au 60^e jour).** C'est la période la plus radio sensible. Il y a risque de malformation du système nerveux central. Le seuil critique d'exposition se situe autour de 100 mGy.

3. **Stade fœtal (au-delà du 60^e jour).** Le risque de formation de tumeurs malignes mortelles est à craindre lorsqu'il s'agit d'irradiation *in utero*. Un retard mental peut aussi être induit entre la 8^e et la 25^e semaine de la grossesse. De la 8^e à la 16^e semaine, une irradiation atteignant 100 à 200 mGy peut se traduire en un retard mental, à raison d'une diminution de 30 points de Q.I. par Gray.

Source de rayonnement	Dose (mGy)	Source de rayonnement	Dose (mGy)
Radio dentaire	<0,01	Repas baryté et fluoroscopie	1,1
Radio thorax	<0,01	Lavement baryté et fluoroffg.	6,8
Mammographie	<0,05	Tomodensitométrie de la tête	<0,05
Radio pelvique	1,1	Tomo. du thorax	0,06
Radio de l'abdomen	1,4	Tomo. de la colonne lombaire	2,4
Radio colonne lombaire	1,7	Tomo. de l'abdomen	8,0
Rayonnement naturel	0,5	Tomo. du bassin	25,0

Tableau 5 : Doses au fœtus résultant de diverses procédures

5.2- Mesures de protection

- Éviter l'irradiation inutile de toute femme enceinte.
- En cas de grossesse méconnue, les conséquences varient en fonction de l'âge du fœtus et des doses reçues :
 - Dose inférieure à 100 mGy : aucune mesure particulière, si ce n'est d'éviter une nouvelle irradiation.
 - Dose entre 100 à 200 mGy : les parents doivent en discuter avec un médecin
 - Dose supérieure à 200 mGy : une interruption thérapeutique de la grossesse peut être conseillée.

En résumé, les principaux problèmes posés par le rayonnement concernent les doses très élevées. La tranquillité d'esprit est par contre un facteur très important pour le déroulement heureux de la grossesse. Selon le règlement de la Commission sur la santé et la sécurité du travail, c'est au médecin traitant qu'il appartient, après discussion avec la femme enceinte et l'évaluation de tous les risques, de demander une réaffectation temporaire à d'autres tâches. Si cette mesure ne peut pas être accordée, on peut recourir au retrait préventif.

5.3- Déclaration de grossesse

Selon le règlement sur la radioprotection, la travailleuse du **secteur nucléaire** qui apprend qu'elle est enceinte en avise immédiatement par écrit le titulaire du permis. Après avoir été avisé de la grossesse, le titulaire de permis prend les dispositions prévues dans le règlement pour limiter la dose.

5.4- Limites de dose pendant la grossesse

La limite de dose permise pour les **travailleuses autres que celles du secteur nucléaire** est **1 mSv par année**, qu'elles soient enceintes ou non.

La limite de dose maximale permise **pour la travailleuse enceinte du secteur nucléaire**, pour le reste de la grossesse, selon l'article 13 du règlement de la radioprotection :

$$\text{Dose externe} + 20 (\text{quantité ingérée} / \text{LAI}) \leq 4 \text{ mSv}$$

Le deuxième facteur tient compte des situations où la travailleuse enceinte reçoit une contamination interne par les radio-isotopes. Il est basé sur la **LAI = Limite Annuelle d'Incorporation** pour les isotopes en question dans chaque cas. La **LAI** est l'activité d'un radionucléide qui délivre une dose de 20 mSv durant les 50 années suivant l'incorporation dans le corps d'une personne.

Par exemple :	³ H	1000 MBq
	¹⁴ C	30 MBq
	³² P	8 MBq
	³⁵ S	26 MBq
	¹²⁵ I	1 MBq

Notes

Les solvants organiques utilisés dans les laboratoires constituent souvent un danger beaucoup plus grand durant la grossesse.

Les doses reçues dans les laboratoires de recherche sont généralement bien en dessous des limites permises.

Aucune personne à l'Université n'est travailleuse **du secteur nucléaire**. La limite de dose qui s'applique en tout temps est donc de 1 mSv par année.

On vous demande cependant d'aviser la spécialiste en radioprotection de votre grossesse, car pour les femmes enceintes, nous changeons les dosimètres toutes les deux semaines comparativement à trois mois pour les autres utilisateurs. Il est également conseillé de mettre le dosimètre sur l'abdomen.

MODULE 6

CADRE RÉGLEMENTAIRE

6.1- Organisme de réglementation

Commission canadienne de sûreté nucléaire ou **CCSN**
www.suretenucleaire.gc.ca

La CCSN a délivré un permis consolidé à l'Université Laval. Selon les conditions de ce permis, les rôles des différentes parties sont les suivants :

- Le comité de radioprotection est responsable d'élaborer le programme de radioprotection de l'Université et de délivrer, au nom de l'Université, des autorisations internes aux professeurs qui désirent utiliser des substances nucléaires dans le cadre de leurs activités d'enseignement et de recherche
- Le spécialiste en radioprotection applique le programme de radioprotection
- Le détenteur d'autorisation interne est responsable de la radioprotection à l'intérieur de son laboratoire
- Le travailleur autorisé dont le nom apparaît sur une autorisation interne est responsable de sa sécurité et de celle des autres dans son milieu de travail

6.2- Permis de l'Université Laval

Conditions du permis consolidé:

- Isotopes et quantités maximales.
- Limites de rejet.
- Endroits (pavillons) autorisés et liste des locaux tenue à jour.
- Autorisations internes délivrées par le Comité de radioprotection.
- Les locaux doivent être classés avant d'être autorisés pour l'utilisation de substances nucléaires **et déclassés à la fin des travaux, avant de pouvoir servir à tout autre usage. Tout local dans lequel aucune activité se rapportant aux substances nucléaires n'a eu lieu depuis 90 jours ou plus doit être déclassé.**

6.3- Lois et règlements

La [Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires](#) (LSRN) est entrée en vigueur le 31 mai 2000, en remplacement de la *Loi sur le contrôle de l'énergie atomique*. Elle confère à la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) ses pouvoirs en matière de

réglementation. Voici les principaux règlements qui concernent l'Université.

Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires

Article 12 : Obligations du titulaire de permis, *c'est-à-dire l'Université*. Plusieurs de ces obligations sont partagées par les détenteurs d'autorisations internes :

- Veiller à ce qu'il y ait suffisamment de travailleurs qualifiés pour exercer l'activité autorisée en toute sécurité.
- Former ces travailleurs.
- Exiger de toute personne se trouvant sur les lieux qu'elle utilise l'équipement, les appareils et les vêtements et qu'elle suive les procédures requises.
- Prendre toutes les précautions raisonnables pour contrôler le rejet de substances nucléaires radioactives ou de substances dangereuses.
- Prendre toutes les précautions raisonnables pour protéger l'environnement, préserver la santé et la sécurité des personnes et maintenir la sécurité.
- Mettre en œuvre des mesures pour prévenir le vol ou la perte et être alerté en cas d'utilisation ou d'enlèvement illégal d'une substance nucléaire.
- Contrôle **strict** des accès aux pièces, aux armoires ou aux réfrigérateurs où sont entreposées les matières nucléaires.

Article 17 : Obligations des travailleurs

- Se conformer aux mesures prévues par le titulaire de permis
- Observer et respecter tous les avis et les mises en garde.
- Utiliser d'une manière responsable, raisonnable et conforme à la réglementation l'équipement de radioprotection.
- Signaler sans délai toute situation où il pourrait y avoir une augmentation du niveau de risque.
- Prendre toutes les précautions raisonnables pour veiller à sa propre sécurité et à celle des personnes se trouvant sur les lieux.

Autorisations internes

- Elles sont accordées par le comité de radioprotection
- Le détenteur doit généralement être professeur(e)
- Elle doit être tenue à jour
- Toutes les pages doivent être affichées dans tous les locaux autorisés

Il est interdit au titulaire de permis de transférer une substance nucléaire à une personne qui ne détient pas le permis requis.

Règlement sur la radioprotection

Article 4: programme de radioprotection

- Le titulaire de permis met en œuvre un programme de radioprotection.
- Dans le cadre de ce programme, il maintient le degré d'exposition du personnel au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre.

Article 13 : limites de dose

- Le titulaire de permis veille à ce que la dose qui est reçue par une personne ne dépasse

pas les niveaux décrits à l'**annexe 2**.

Règlement sur les substances nucléaires et les appareils à rayonnement

Article 11: homologation des appareils à rayonnement

Il est interdit d'utiliser ou de transférer un appareil à rayonnement à moins que celui-ci ne soit d'un modèle homologué.

Article 19: transferts de sources scellées

- Le titulaire de permis qui transfère un appareil à rayonnement fournit au destinataire les consignes à suivre en cas d'accident.
- Le titulaire de permis qui transfère une source scellée fournit au destinataire un document sur la plus récente épreuve d'étanchéité effectuée.

Article 20 : étalonnage des radiamètres

Il est interdit d'utiliser, pour l'application de la Loi, de ses règlements, d'un ordre, d'une ordonnance ou d'un permis, un radiamètre qui n'a pas été étalonné au cours des douze mois précédant son utilisation.

Emballage et transport des substances nucléaires

Le Canada adhère à la réglementation internationale sur le transport des marchandises dangereuses, y compris les matières radioactives. Toutes les demandes de transport doit être soumises à la responsable de la radioprotection, qui en déterminera l'admissibilité.

Note: Les compagnies d'assurance ne couvrent généralement pas les dommages en cas d'accident si vous transportez des matières radioactives dans votre propre voiture.

6.4- Tenue de dossiers, rapports et notifications

Dossiers

- Le titulaire de permis doit conserver et tenir à jour
 - Une liste des travailleurs autorisés
 - Une liste des réceptions, transferts, et évacuations de substances nucléaires et des appareils à rayonnement
 - Ces listes doivent être conservées durant un an après expiration du permis sous lequel elles ont été constituées

Avis

- Le titulaire de permis doit aviser une personne responsable et, si la gravité de l'événement d'exige, la CCSN pour les cas suivants :
 - Tout vol, perte, ou rejet non autorisé de substance nucléaire ou d'appareil à rayonnement
 - Tout incident, ou tentative de sabotage impliquant des substances nucléaires ou des appareils à rayonnement
 - Tout début de défaillance d'un dispositif qui pourrait mener à une exposition au

rayonnement

- Toute maladie ou blessure grave dans lesquelles des substances nucléaires ou des appareils à rayonnement pourraient être en cause

MODULE 7

CLASSIFICATION DES LABORATOIRES ET SIGNALISATION

7.1- Le symbole du rayonnement



Le symbole de mise en garde contre le rayonnement ionisant, appelé symbole trifolié, comporte trois pales et un disque central. Ceux-ci sont de couleur magenta ou noire sur fond jaune. Le symbole trifolié est un symbole utilisé dans le monde entier pour communiquer au sujet de la présence de sources de rayonnement ionisant. Au Canada comme dans la plupart des pays, son utilisation est réglementée.

7.2- Quantités importantes pour la classification des laboratoires

7.2.1 Quantité d'exemption (QE)

Il s'agit de la quantité d'un radio-isotope sous laquelle un permis n'est pas requis (voir **annexe 3**). Cette valeur est différente pour chaque isotope, d'après ses caractéristiques de rayonnement, sa demi-vie et de sa radiotoxicité. Il représente le niveau de risque d'une petite quantité de substance nucléaire.

Chaque zone, pièce ou enceinte où on utilise plus d'une quantité d'exemption d'une substance nucléaire non scellée à un moment donné est désignée comme laboratoire de radio-isotopes.

7.2.2 Limite annuelle d'incorporation (LAI)

C'est la quantité de matière radioactive telle que, si un travailleur l'ingère ou l'inhaler chaque année, lui transmettra une dose annuelle de 20 mSv, soit la limite pour les travailleurs du secteur nucléaire.

Ces valeurs sont propres à chaque isotope et à chaque voie d'incorporation, et même dans certains cas à certaines formes chimiques. Elles sont fondées sur l'estimation de la dose attribuable à l'incorporation d'une quantité donnée du radionucléide. Pour un même isotope, la valeur de la LAI peut être différente pour l'ingestion et pour l'inhalation, ou encore pour la forme organique ou inorganique sous laquelle on peut le retrouver.

La valeur de LAI, toujours rapportée à la quantité maximale de radio-isotope manipulé en même temps dans le laboratoire, sert pour établir la limite supérieure des classes de laboratoire, de la façon suivante :

Laboratoire de niveau élémentaire si la quantité utilisée ne dépasse pas 5 LAI,

Laboratoire de niveau intermédiaire si la quantité utilisée ne dépasse pas 50 LAI,

Laboratoire de niveau supérieur si la quantité ne dépasse pas 500 LAI,

Laboratoire de confinement si la quantité dépasse 500 LAI;

À l'exception du niveau élémentaire, le titulaire de permis n'utilise pas de substances nucléaires non scellées dans ces zones, pièces ou enceintes sans l'autorisation écrite de la Commission ou d'une personne autorisée par celle-ci.

Isotope	Valeur de la QE	Valeur de la LAI (ingestion)
H-3	1×10^9 Bq	1×10^9 Bq
C-14	1×10^7 Bq	$3,4 \times 10^7$ Bq
S-35	1×10^8 Bq	$1,1 \times 10^8$ Bq
P-32	1×10^5 Bq	$8,3 \times 10^6$ Bq
I-125	1×10^6 Bq	$1,3 \times 10^6$ Bq
Co-60	1×10^5 Bq	$5,9 \times 10^6$ Bq
Po-210	1×10^4 Bq	$8,3 \times 10^4$ Bq

Tableau 6 : Valeurs de la quantité d'exemption et de la limite annuelle d'incorporation pour quelques radio-isotopes

7.3- Classification des laboratoires

- Utilisation de sources ouvertes
 - Classés selon les isotopes et les quantités manipulées à la fois
 - Exempté manipulation <1 QE
 - Élémentaire entre 1 QE et 5 LAI
 - Intermédiaire entre 5 et 50 LAI
 - Supérieur plus de 50 LAI
- Utilisation de sources scellées ou d'appareils à rayonnement
- Entreposage

7.4- Signalisation

- Les règles de signalisation concernant les différents types de laboratoires (exemptés, élémentaires ou intermédiaires, d'aires (stockage ou manipulation) ainsi que pour les appareils à rayonnement doivent être respectées. Elles sont détaillées à l'**annexe 4**, et en voici un résumé :
- L'autorisation interne, dans sa version complète et à jour, doit être affichée dans tous les locaux qui y sont mentionnés.
- Une affiche autorisée par le CCSN, mentionnant les **règles de manipulations** pour les laboratoires de sources ouvertes de niveau élémentaire ou intermédiaire, selon le cas, doit être affichée dans tous les laboratoires répondant à ces classifications.
- **Une affiche ou panneau de mise en garde**, portant le symbole trifolié de mise en garde contre le rayonnement et la mention **RAYONNEMENT - DANGER – RADIATION** doit se trouver à chaque entrée des pièces et des aires de stockage si la quantité (sous forme de sources ouvertes, sources scellées ou appareils à rayonnement) **dépasse 100 fois la quantité d'exemption** de l'isotope.
 - Il doit y avoir sur ce panneau d'entrée : le nom, le titre ainsi que le numéro de téléphone de la personne à contacter en tout temps pour lancer la procédure à suivre en cas d'accident.

7.5- Étiquetage

- Le matériel de travail doit être clairement identifié comme étant matériel radioactif. Les contenants doivent être identifiés avec le symbole, ainsi que l'isotope, la date et l'activité s'ils contiennent plus d'une quantité d'exemption de l'isotope. Pour les appareils à rayonnement, cette obligation s'applique à ceux qui contiennent plus de 10 quantités d'exemption.

Affichage et étiquetage : résumé

- Tout local classé
 - *Autorisation interne avec liste des utilisateurs*
- Labo de sources ouvertes avec plus de 1 QE
 - *Règles de manipulation et contact 24h*
- Récipient avec plus de 1 QE ou appareil avec plus de 10 QE
 - *Symbole de mise en garde, ID et quantité*
- Endroit d'entreposage ou appareil avec plus de 100 QE
 - *Affiche avec RAYONNEMENT - DANGER –RADIATION*
- Laboratoire avec plus de 100 QE
 - *Affiche avec RAYONNEMENT - DANGER –RADIATION à tous les accès*

Toute autre utilisation du symbole de mise en garde contre le rayonnement ou de la mention « RAYONNEMENT – DANGER – RADIATION » constitue une *utilisation frivole* non conforme à la réglementation

MODULE 8

LA RADIOPROTECTION

8.1- Principes de radioprotection

La radioprotection repose sur trois principes fondamentaux :

- **Justification:** Les avantages doivent dépasser les risques engendrés par l'exposition.
- **Optimisation :** L'exposition est à maintenir à un niveau aussi faible que possible
- Dans le cadre de cette optimisation on applique le **principe ALARA** qui vise à maintenir l'exposition aux rayonnements au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre
- **Limites de dose:** Les limites de dose définies par le législateur ne doivent pas être dépassées. Ceci inclut des limites de dose efficace aux organes pour éviter les effets déterministes et des limites de dose équivalente au corps pour éviter les effets stochastiques

8.2- Principe ALARA : « As Low As Reasonably Achievable »

Des mesures comme le contrôle de la contamination, une diminution de la durée d'exposition, l'augmentation de la distance et l'utilisation de blindage pendant le travail avec des radio-isotopes, sont importantes pour respecter le **principe ALARA** qui vise à maintenir les doses de rayonnement reçues par les personnes « au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre » compte tenu des facteurs économiques et sociaux.

8.3 Mesures de sécurité générales

- Éviter l'irradiation externe en utilisant les trois mesures suivantes : diminuer le temps d'exposition, augmenter la distance des sources de rayonnement et utiliser des écrans.
- Minimiser l'exposition interne aux rayonnements en limitant la contamination personnelle. En cas d'accident ou de déversement d'une substance radioactive, suivre les procédures d'urgence et aviser votre responsable de la radioprotection.
- Porter un dosimètre en tout temps dans le laboratoire si votre responsable de la radioprotection l'exige. Ranger les dosimètres à l'abri de toute source de rayonnement. Se soumettre à un programme de biodosage, s'il y a lieu.
- Assurer la sécurité des substances nucléaires : toujours verrouiller la porte du laboratoire de radio-isotopes lorsqu'il n'y a personne qui y travaille. Seules les personnes autorisées par le permis devraient posséder la clé du laboratoire ou de l'enceinte où sont stockées les matières radioactives, pour restreindre l'accès aux radio-isotopes.

8.4- Contrôle de la radio exposition

8.4.1 Radio exposition externe

Il existe trois grands principes de radioprotection qui permettent de réduire les risques d'exposition des utilisateurs aux différents types de rayonnement. Il s'agit de la durée, de la distance et du blindage. Les utilisateurs de sources radioactives scellées doivent appliquer ces principes de façon rigoureuse.

8.4.1.1 La durée

Il faut diminuer au maximum la durée de son exposition aux rayonnements.

$$\text{Dose} = \text{débit de dose} \times \text{durée}$$

Le fait de diminuer la durée d'exposition entraîne directement une diminution de la dose de rayonnement reçue.

8.4.1.2 La distance

L'intensité des rayonnements diminue généralement en fonction du carré de la distance. Pour visualiser l'effet de la distance, il suffit de mesurer le débit de dose à partir d'une source fixe, à différentes distances de celle-ci.

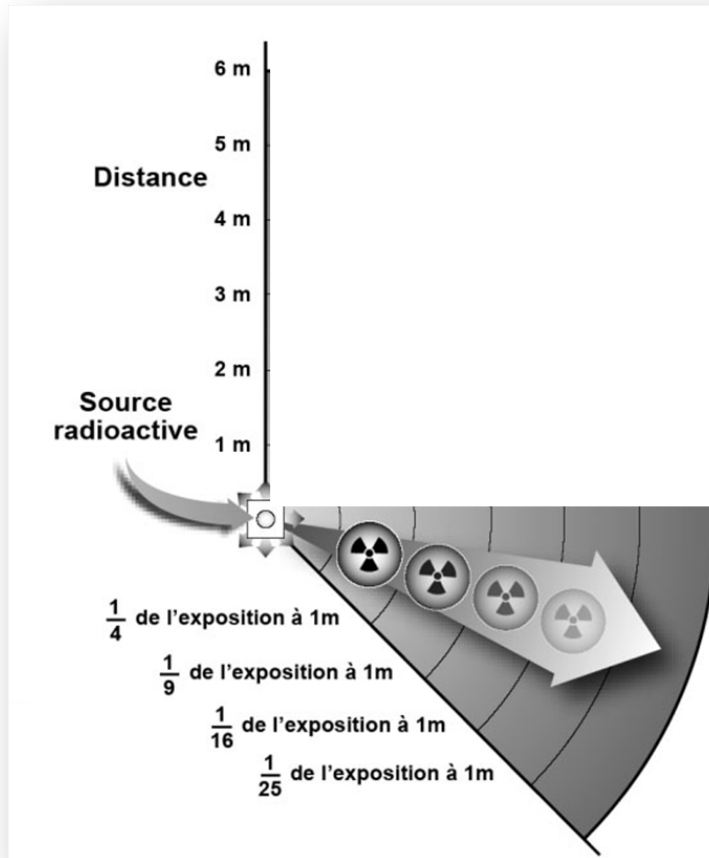


Figure 19- Diminution du débit de dose en fonction de la distance

8.4.1.3 Blindage

Lorsque la diminution du temps d'exposition et l'éloignement de la source ne suffisent pas à diminuer suffisamment la radio exposition, il faut mettre un ou plusieurs écrans protecteurs appropriés entre la source de rayonnement et les personnes. Un écran de plexiglas d'un centimètre protège l'utilisateur du rayonnement bêta de haute énergie du phosphore-32.

Les émetteurs gamma requièrent un blindage dense, comme le plomb, dont l'épaisseur variera en fonction de l'énergie du rayonnement en cause. Pour le phosphore-32, un émetteur bêta, ne pas utiliser ce type de blindage qui produit un rayonnement de freinage (rayon X); préférer le plastique (acrylique).

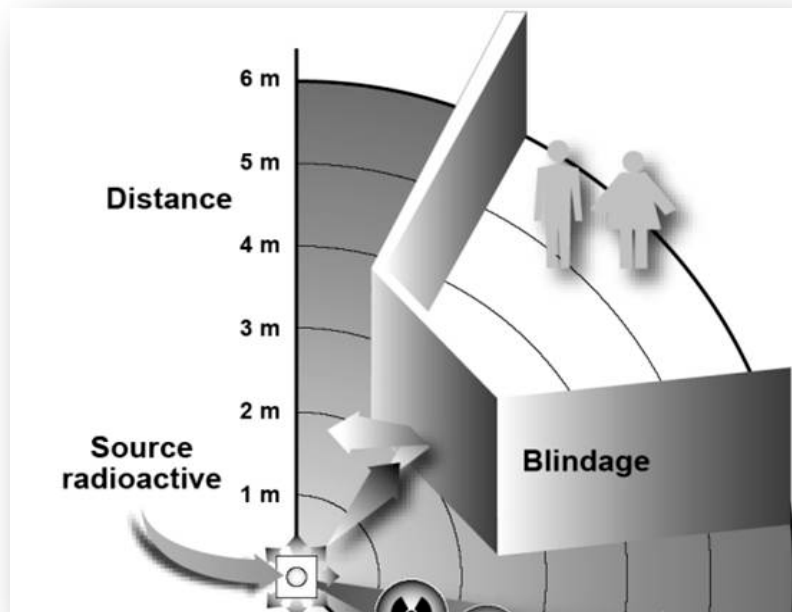


Figure 20 : effet d'un blindage sur l'irradiation externe

8.4.2 Contrôle de la radio exposition interne

8.4.2.1 Voies d'entrée dans le corps

- Inhalation : Aérosols et de gaz radioactifs. Environ 25% de l'activité inhalée est immédiatement exhalée. Elle augmente grandement le danger de contamination interne.
- Ingestion : La radioactivité pénètre par voie buccale.
- Absorption à travers la peau : L'activité se retrouve dans le sang et la lymphe. Sa destinée finale dépend de l'isotope et de sa forme chimique.

L'ingestion ou l'absorption cutanée peuvent se produire en présence de contamination non contrôlée des surfaces.

8.4.2.2 Contrôle de la contamination

- Ne pas manger, boire, conserver de la nourriture ou fumer dans le laboratoire. Ne pas pipeter des solutions radioactives avec la bouche. Porter des gants de protection pour manipuler des substances radioactives.
- Porter un sarrau fermé (dont l'usage est strictement réservé au travail avec les radio-isotopes et laissé à l'endroit où il est utilisé), son dosimètre ainsi que des gants de protection lors de la manipulation de substances radioactives. Il est recommandé de porter deux paires de gants, la paire extérieure devant être changée si elle est contaminée ou lorsque l'aire de travail est quittée. Il est important d'enlever les gants selon la technique appropriée (**voir annexe 5**).
- Délimiter les surfaces de travail servant à la manipulation des substances

- radioactives. Attention à l'utilisation « frivole » du symbole (**voir annexe 4**).
- Couvrir les surfaces de travail pour les radio-isotopes avec un matériau absorbant jetable, avec le côté absorbant vers le haut.
 - Travailler sous une hotte si votre responsable de la radioprotection l'exige.
 - Retirer les gants contaminés en utilisant une technique qui empêche les mains de se contaminer durant la manœuvre (**voir annexe 5**)

8.5- Contrôle de la contamination des locaux

8.5.1 Laboratoires de radio-isotopes : vérification par frottis

- Contrôler le niveau de contamination non fixée lorsque le travail est terminé ou au moins chaque semaine, lorsqu'il y a activité.
- Frotter 100 cm² avec un papier filtre mouillé (sec pour le tritium), mettre le papier dans une fiole et y ajouter du liquide à scintillation.
- Mesurer le taux de contamination à l'aide d'un compteur à scintillation liquide étalonné.
- Savoir comment convertir les résultats obtenus en Bq/cm².
- Décontaminer toute surface lorsque le niveau dépasse les critères prévus dans les conditions de permis.
- Tenir un registre des résultats, y compris ceux obtenus après décontamination.
- Les périodes où les utilisateurs ne travaillent pas avec les radio-isotopes doivent être identifiées dans les registres du laboratoire, et ce, chaque semaine.
- per les résultats un an après la fin de validité du permis.
- S'assurer que l'équipement ayant servi à des travaux avec des substances radioactives respecte les critères de contamination avant de l'utiliser pour d'autres travaux.



Limites réglementaires

Pour les isotopes les plus courants, la CCSN a fixé un niveau de contamination maximal de 300 Bq/cm² pour les surfaces de travail et 30 Bq/cm² pour les autres surfaces. Pour certains isotopes, les émetteurs alpha par exemple, les limites sont plus basses. Pour la formule permettant de calculer la valeur d'une contamination en Bq/cm² à partir des résultats d'un compteur à scintillation, voir l'**annexe 6**.

La politique de l'Université Laval est plus restrictive que le règlement de la CCSN puisque toute contamination détectable par frottis, soit à partir du double de la valeur du blanc, ou 100 CPM, doit être décontaminée.

8.5.2 Techniques de décontamination des surfaces

Équipement

- EPI, détergent de laboratoire ou décontaminant spécialisé, papier absorbant, sacs-poubelles, ruban adhésif
- Équipement de mesure (contaminamètre portatif ou matériel pour frottis et compteur à scintillation liquide)

Technique

- Observez, puis mesurez le niveau de contamination
- Marquez le périmètre de la zone contaminée avec le ruban
- Mouillez avec le détergent ou décontaminant
- Essuyez de la périphérie vers le centre
- Changez de papier à chaque passage
- Continuez pour enlever la contamination non fixée
- Mesurez et notez le niveau atteint
- Documentez et faites rapport au responsable
- Si vous ne parvenez pas à enlever toute la contamination, contactez le spécialiste en radioprotection

8.5.3 Techniques de décontamination personnelle

Tout cas de contamination soupçonnée devrait être communiqué au responsable de la radioprotection qui peut vous conseiller sur les mesures à prendre et vous référer, au besoin, à un professionnel de la santé.

8.6.3.1 Contamination externe

- Pour la peau : laver avec un savon **doux** pour ne pas endommager la peau, ce qui pourrait transformer une contamination externe en une contamination interne.
- Pour les yeux : rincer avec une douche oculaire ou sous le robinet.
- Laver aussi longtemps que nécessaire pour enlever toute la contamination non fixée.
- S'il y a de la contamination résiduelle, ou pour les endroits délicats (yeux, oreilles, narines, etc.), consulter un médecin.

8.5.3.2 Contamination interne

- Par inhalation : faire tousser et se moucher; conserver les expectorations pour fins d'examen.
- Par ingestion : rincer la bouche et aviser un médecin.
- Un biodosage pourrait être requis dans les cas suivants

- Manipulation de quantités importantes d'iode radioactif volatil (trousses de RIA exclues)
- Déversement ou contamination externe à l'iode radioactif
- Utilisation d'eau tritiée
- *Communiquez avec nous si vous croyez que vous devriez y être soumis(e)*

8.5.4 Aération

Une bonne ventilation et un travail sous la hotte sont de mise avec certaines substances radioactives volatiles, en aérosol ou gazeuses. Les aérosols peuvent être produits par une multitude de manipulations; les gaz radioactifs viennent souvent du métabolisme de l'organisme marqué. Le danger de contamination par inhalation s'en trouve beaucoup plus grand. On doit aussi ventiler les aires de stockage s'il y a un risque de vapeurs ou de poussières radioactives.

8.5.5 Transport à l'intérieur des matières radioactives

- La personne qui transporte des matières radioactives d'un local à un autre, dans un même pavillon, doit utiliser un chariot et mettre les contenants ou les échantillons radioactifs dans un bac à rebords assez hauts, au fond duquel on place un papier absorbant pour contenir les déversements. Il est recommandé de se munir d'une bouteille de produit décontaminant, de papier absorbant en quantité suffisante, de sacs à déchets ainsi que de gants pour agir rapidement en cas d'accident.
- Pour des activités élevées P-32 ou d'un émetteur gamma, il peut être avantageux de placer les matières radioactives dans un contenant pouvant blinder le rayonnement.
- Il est demandé de ne pas circuler dans les cafétérias, de ne pas aller dans les corridors bondés d'étudiants et d'éviter les heures qui précèdent le début des cours. Utiliser les ascenseurs prévus pour le transport des matières dangereuses et ne pas permettre l'accès à d'autres passagers.

8.6- Précautions avec les sources scellées et appareils à rayonnement

Les laboratoires où l'on entrepose ou utilise des sources scellées ou des appareils à rayonnement doivent avoir un inventaire des stocks consultable sur place. Chaque source contenant plus d'une quantité d'exemption doit avoir une étiquette portant le symbole de mise en garde, les mots RAYONNEMENT- DANGER – RADIATION, le nom de l'isotope, l'activité, la date de fabrication et la forme. Pour les appareils à rayonnement, l'obligation d'étiquetage complet s'applique à partir de 10 quantités d'exemption.

Les récipients qui contiennent des sources radioactives doivent être identifiés et entreposés dans une enceinte identifiée et verrouillée. Elle devra être blindée, si nécessaire, afin que le niveau de rayonnement à proximité ne dépasse pas 2,5 microsievarts par heure. Tout contact physique avec les sources scellées doit être évité par l'utilisation de pinces pour la manipulation, par exemple.

Un radiamètre approprié, étalonné depuis moins de 12 mois, devra être disponible si **l'on manipule des sources scellées de plus de 50 MBq**. Si une source scellée ou un appareil à rayonnement est associé à un incident, à un accident ou à un incendie, son étanchéité doit être vérifiée avant d'être utilisée à nouveau. La valeur de son champ de rayonnement doit être mesurée. Le responsable de la radioprotection doit être avisé de ce fait.

8.6.1 Épreuves d'étanchéité par frottis

Toutes les sources radioactives scellées de 50 MBq (1,3 mCi) et plus, qu'elles soient ou non incluses dans des appareils à rayonnement, doivent faire l'objet d'épreuves d'étanchéité tous les 6, 12 ou 24 mois, selon leur utilisation. Ces contrôles par frottis sont réalisés par le personnel du secteur de la radioprotection. Si vous possédez une telle source et qu'elle n'est pas contrôlée régulièrement, veuillez communiquer avec le responsable de la radioprotection.

8.7- Procédures d'urgence

Lors d'un déversement de substances nucléaires, qu'il soit mineur ou majeur, il faut toujours respecter la démarche suivante :

- Tout d'abord, s'occuper des blessés s'il y en a, et ensuite aviser le responsable de la radioprotection.
- Prévenir les collègues de travail et évacuer l'endroit si nécessaire.
- Identifier les personnes affectées et estimer leur irradiation.
- Mesurer la contamination et décontaminer si possible. Il faut mesurer la contamination résiduelle et conserver les données.

8.7.1 Contamination mineure des locaux (déversement de moins de 1 QE)

- Déterminer l'étendue et le niveau de la contamination, par observation directe et par mesure (contaminamètre et ou frottis).
- Marquer le périmètre de la zone contaminée avec du ruban adhésif.
- Décontaminer la zone avec un détergent ou un produit décontaminant en frottant de l'extérieur vers le centre de la zone en changeant de papier à chaque passage.
- Vérifier par frottis le niveau de contamination atteint.
- Recommencer autant de fois que nécessaire pour être en deçà des normes.
- Documenter la procédure et les résultats obtenus. Transmettre cette information au responsable de la radioprotection.

8.7.2 Contamination majeure des locaux (déversement de 1 QE ou plus)

- Établir un périmètre de sécurité comme précédemment et évacuer l'endroit contaminé.
- Les personnes potentiellement contaminées doivent cependant rester à proximité pour

évaluation et pour éviter de répandre la contamination.

- Communiquer avec le secteur de la radioprotection pour une évaluation de la situation. Le responsable de la radioprotection prendra les décisions nécessaires et posera les gestes requis pour assurer la sécurité des travailleurs.

8.8- Inspections

Lors de l'inspection annuelle (ou plus fréquente) des laboratoires, le personnel du secteur de la radioprotection (**voir annexe 7**) vérifie si les résultats de frottis hebdomadaires sont disponibles, si l'affichage est adéquat et veille à ce que tous les règlements reliés à l'utilisation de matières radioactives soient respectés. Pendant cette inspection, des frottis de contrôle sont effectués pour vérifier si le local est contaminé. La CCSN effectue aussi des inspections au cours desquelles ils peuvent visiter votre laboratoire pour des vérifications ou des entrevues.

MODULE 9

ACHAT, RÉCEPTION ET ÉLIMINATION

9.1- Achats et réception des matières radioactives

9.1.1 Exigences pour l'achat

- Acheter uniquement les isotopes et les quantités **approuvées pour votre laboratoire**.
- Identifier le chercheur responsable (titulaire d'autorisation interne) sur la demande d'achat
- Identifier les demandes d'achat comme étant un **produit radioactif** : utiliser la catégorie **PRRAD** (aviser le personnel chargé de la saisie des commandes).

-

9.1.2 Responsabilités du destinataire d'un colis radioactif³

- Sur réception des matières radioactives, vérifiez l'état du colis : s'il est endommagé ou s'il fuit, contrôlez la contamination externe et interne, confinez-le et avisez la responsable de la radioprotection
- Si le colis est intact, vérifiez, si possible, le champ de rayonnement autour du colis et notez toute anomalie par rapport aux valeurs indiquées sur les documents de transport. Placez-le sous la hotte et, muni de vêtements de protection, ouvrez-le et vérifiez si son contenu est conforme à la commande.
- Contrôlez la contamination externe des bouteilles
- **Dès leur réception, les matières radioactives** doivent être inscrites dans le système Sygemar.

9.2 Le système d'inventaire SYGEMAR

L'objectif de cet outil accessible en ligne est de gérer l'inventaire des substances radioactives non scellées de chaque laboratoire, depuis l'arrivée des commandes jusqu'à l'élimination des déchets.

Les principales fonctions de cet inventaire, accessible avec votre IDUL, sur le campus de l'Université, sont les suivantes :

- Inscrire une bouteille de radio-isotope dès son arrivée dans le laboratoire. L'identification se fait avec le numéro de commande.
- Consulter votre inventaire, qui vous indiquera l'historique d'utilisation de chaque bouteille et la quantité restante. Le système calcule la décroissance radioactive en temps réel.
- Inscrire vos prélèvements dès qu'ils sont effectués
- Commander des contenants à déchets (voir **annexe 9**)

³ Voir annexe 8, *Lignes directrices pour la manipulation des colis renfermant des substances nucléaires.*

- Inscrire des rejets dans les contenants
- Demander le ramassage des contenants pleins

9.3 Règlements sur le transport et la réception des substances nucléaires

9.3.1 Exigences quant à la formation

Le destinataire d'un colis radioactif doit être formé, détenir un certificat de formation et le présenter à un inspecteur sur demande.

9.3.2 Types de colis

- Les substances nucléaires peuvent être expédiées comme :
 - Colis de type B, industriel, de matières fissiles
 - Colis de type A
 - Colis excepté

9.3.2.1 Exigences pour les colis de type A

- Matières d'activité moyenne
- En quantité supérieure aux normes pour chaque isotope et forme
- Modèle de colis approuvé
- Étiquettes selon le champ de rayonnement :



9.3.2.2 Exigences pour les colis exceptés

- Matières de faible activité
- Champ en surface inférieur à 5 $\mu\text{Sv/h}$
- Aucune étiquette externe, mais numéro UN
- Mot RADIOACTIF visible à l'ouverture
- Modèle de colis non soumis à approbation

9.4- Élimination des matières radioactives

Le secteur de la radioprotection du Service de sécurité et de prévention de l'Université offre le service de cueillette et d'élimination des déchets radioactifs.

- Utiliser les contenants SYGEMAR fournis par le personnel de la radioprotection. Respecter l'utilisation de chacun des contenants et prendre en considération le numéro qui leur est attribué.
- Lorsque les contenants sont pleins, il faut suivre la procédure expliquée dans le module 7 concernant le système informatique Sygemar pour demander la cueillette et le remplacement des contenants.
- **Ne pas trop remplir les contenants! Les contenants trop pleins ne seront pas cueillis.**
- Pour éliminer des sources scellées ou des appareils à rayonnement, contacter la spécialiste en radioprotection.

ANNEXE 1
UNITÉS DE MESURE DES RAYONNEMENTS – SYSTÈME INTERNATIONAL (SI)

Le Curie (Ci) est remplacé par le Becquerel (Bq)

1 kilocurie (kCi)	37 térabecquerels (TBq)
1 Curie (Ci)	37 gigabecquerels (GBq)
1 millicurie (mCi)	37 mégabecquerels (MBq)
1 microcurie (μ Ci)	37 kilobecquerels (KBq)
1 nanocurie (nCi)	37 becquerels Bq)
1 picocurie (pCi)	37 millibecquerels (mBq)

Le Becquerel (Bq) remplace le Curie (Ci)

1 térabecquerel (TBq)	27 Curies (Ci)
1 gigabecquerel (GBq)	27 millicuries (mCi)
1 mégabecquerel (MBq)	27 microcuries (μ Ci)
1 kilobecquerel (KBq)	27 nanocuries (nCi)
1 becquerel Bq)	27 picocuries (pCi)

Le rad (rad) est remplacé par le Gray (Gy)

1 kilorad (krad)	10 Gray (Gy)
1 rad (rad)	10 milligray (mGy)
1 millirad (mrad)	10 microrad (μ Gy)
1 microrad (μ rad)	10 nanogray (nGy)

Le Gray (Gy) remplace le rad (rad)

1 Gray (Gy)	100 rad (rad)
1 milligray (1mGy)	100 millirad (mrad)
1 microgray (μ Gy)	100 microrad (μ rad)
1 nanogray (nGy)	100 nanorad (nrad)

Le rem (rem) est remplacé par le Sievert (Sv)

1 kilorem (krem)	10 Sieverts (Sv)
1 rem (rem)	10 millisieverts (mSv)
1 millirem (mrem)	10 microsieverts (μ Sv)
1 microrem (μ rem)	10 nanosieverts (nSv)

Le Sievert (Sv) remplace le rem (rem)

1 Sievert (Sv)	100 rems (rem)
1 millisievert (mSv)	100 millirems (mrem)
1 microsievert (μ Sv)	100 microrems (μ rem)
1 nanosievert (nSv)	100 nanorems (nrem)

ANNEXE 2
Limites de doses au corps entier

	Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3
Ligne	Personne	Période	Dose (mSv)
1	Travailleur du secteur nucléaire, y compris une travailleuse enceinte	a) Période de dosimétrie d'un an	50
		b) Période de dosimétrie de cinq ans	100
2	2. Travailleuse enceinte du secteur nucléaire	Le reste de la grossesse	4
3	Personne autre qu'un travailleur du secteur nucléaire	Une année civile	1

Limites de doses permises pour différentes catégories de travailleurs, selon l'article 13 du Règlement sur la radioprotection. Aucun travailleur ou étudiant de l'Université Laval n'est considéré comme travailleur du secteur nucléaire. C'est donc la limite citée à la ligne 3 qui s'applique.

ANNEXE 3

Valeur de la quantité d'exemption pour les isotopes courants

Substance nucléaire radioactive	Activité (Bq)
Américium 241	1×10^4
Calcium 45	1×10^7
Carbone 14	1×10^7
Césium 137	1×10^4
Chrome 51	1×10^7
Cobalt 57	1×10^6
Cobalt 60	1×10^5
Cobalt 60	1×10^5
Europium 154	1×10^6
Fer 55	1×10^6
Hydrogène 3	1×10^9
Iode 125	1×10^6
Iode 131	1×10^6
Nickel 63	1×10^8
Phosphore 32	1×10^5
Phosphore 33	1×10^8
Polonium 210	1×10^4
Radium 226	1×10^4
Soufre 35	1×10^8
Thorium naturel	1×10^3
Uranium naturel	1×10^3

Note

Ces valeurs sont tirées du Règlement sur les substances nucléaires et les appareils à rayonnement, à jour le 27 août 2008.

ANNEXE 4
Règles d'affichage
pour les endroits où se déroulent les activités autorisées
par le permis consolidé délivré par la CCSN

1- Endroit autorisé (Pavillon)

Le secteur de la radioprotection est responsable de ce type d'affichage

Copie du permis de la CCSN, avec ou sans son numéro, et un avis indiquant l'endroit où tout document mentionné dans le permis peut être consulté.

- Toutes les autorisations internes (affichées dans chacune des pièces autorisées) comportent une note indiquant où le permis de la CCSN peut être consulté.

2- Laboratoire exempté (moins de 1 QE) plus les exigences des zones de stockage, s'il y a lieu

- Aucun symbole trifolié
- Autorisation interne
- Inventaire des stocks
- Procédure d'urgence (affiche sur le déversement)

3- Laboratoire élémentaire (plus les exigences des zones de stockage, s'il y a lieu)

- Autorisation interne
- Affiche approuvée « Niveau élémentaire » sur l'utilisation des substances nucléaires non scellées (INFO-0728-1).
- S'il y a des substances radioactives en quantité supérieure à 100 fois la quantité d'exemption; ou un risque un débit de dose supérieur à 25 microSv/h.
 - Aux limites et chaque point d'accès, un panneau durable et lisible portant
 - le symbole de mise en garde contre les rayonnements
 - " RAYONNEMENT - DANGER – RADIATION "

4- Zone de stockage (substances nucléaires non scellées, sources scellées ou déchets)

- Autorisation interne, si la zone n'est pas comprise dans un laboratoire autorisé où elle est déjà affichée.
- S'il y a plus de 100 fois la quantité d'exemption; ou un risque un débit de dose supérieur à 25 microSv/h.
 - panneau aux limites et chaque point d'accès (Ex : porte du réfrigérateur)
 - le symbole de mise en garde contre les rayonnements
 - « RAYONNEMENT - DANGER – RADIATION ».
- Inventaire écrit et tenu à jour sur la zone de stockage

- quand la quantité tombe sous les 100 QE
 - retrait temporaire du symbole trifolié et des mots « RAYONNEMENT - DANGER – RADIATION ».
- Les coordonnées en cas d'urgence demeurent dès qu'il y a présence de substance nucléaire.

5- Récipients contenant des matières radioactives (échantillons expérimentaux, etc.)

- Si la le récipient contient plus d'une quantité d'exemption
 - Une étiquette sur laquelle figurent :
 - Le symbole de mise en garde
 - Le nom, la quantité, la date de mesure et la forme de la substance nucléaire.

6- Bouteilles originales de radio-isotopes (bouteilles sources)

- Le numéro d'identification SYGEMAR (correspond au numéro de bon de commande du produit)

Note : les autres renseignements (symbole de mise en garde, nom et quantité du radio-isotope et date de référence) figurent déjà sur l'étiquette du fabriquant.

7- Zone d'utilisation de sources scellées (plus les exigences des zones de stockage, s'il y a lieu)

- Autorisation interne
- S'il y a des substances radioactives en quantité supérieure à 100 fois la quantité d'exemption; ou un risque un débit de dose supérieur à 25 microSv/h.
 - Aux limites et chaque point d'accès, un panneau durable et lisible portant le symbole de mise en garde contre les rayonnements et la mention "RAYONNEMENT - DANGER – RADIATION"
- L'affiche aux points d'accès doit être posée lors des manipulations de plus de 100 QE et retirée chaque fois que les sources sont retirées du labo, pour être entreposées dans une salle connexe, par exemple.

8- Appareil à rayonnement

- Si l'appareil contient plus de 10 quantités d'exemption
 - Autorisation interne
 - Contact jour et nuit
 - Une étiquette sur laquelle figurent :
 - le symbole de mise en garde contre les rayonnements
 - « RAYONNEMENT - DANGER – RADIATION"
 - Le nom, l'activité, la date de fabrication et la forme de la substance nucléaire
- S'il y a plus de 100 fois la quantité d'exemption; ou un risque un débit de dose supérieur à 25 microSv/h.

- panneau aux limites et chaque point d'accès, avec:
 - symbole de mise en garde contre les rayonnements
 - « RAYONNEMENT - DANGER – RADIATION »

9- Endroit d'utilisation sur le terrain

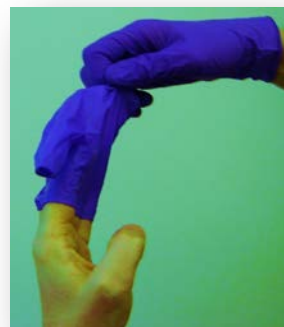
Consulter le bureau de la radioprotection.

Toute autre utilisation du symbole de mise en garde contre le rayonnement ou des mots « RAYONNEMENT – DANGER – RADIATION » constitue une *utilisation frivole* non conforme à la réglementation

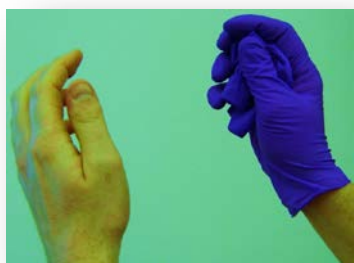
Annexe 5 Technique d'enlèvement des gants contaminés



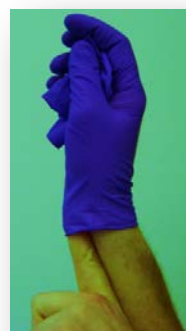
1- Saisissez l'extérieur d'un gant avec l'autre main gantée



2- Tirez doucement le gant avec votre main, en le retournant
La contamination est maintenant à l'intérieur



3- Faites une boule avec le gant et tenez-le dans votre autre main gantée



4- Faites glisser votre doigt non ganté dans l'ouverture de l'autre gant
Évitez de toucher l'extérieur



5- Tirez doucement le gant de votre main, le retournant à nouveau
Toute contamination est contenue



6- Jeter de façon appropriée

Référence : <http://web.princeton.edu/sites/ehs/labsafetymanual/sec6c.htm>

Annexe 6 Méthode de calcul des valeurs en Bq/cm²

Transformation à partir des résultats obtenus en CPM (coups par minute) par le compteur à scintillation liquide :

$$\text{Bq/cm}^2 = \text{CPM nets} / (\text{efficacité de comptage} \times 60 \times 0,1 \times 100 \text{ cm}^2)$$

Notes

- CPM nets : on doit soustraire les résultats obtenus pour le blanc aux résultats obtenus pour les frottis de contrôle de la contamination.
- L'efficacité de comptage est exprimée en fraction décimale (par exemple, 63 % = 0,63); on obtient alors des DPM (désintégrations par minute) à partir des CPM. Pour la calculer, veuillez vous référer au manuel d'instructions de votre compteur.
- La valeur 60 du dénominateur sert à obtenir les désintégrations par seconde (DPS) à partir des valeurs en DPM (on doit faire cette transformation car 1 Bq = 1 DPS).
- La valeur de 0,1 de dénominateur correspond au facteur de rétention du papier filtre lors du frottis. On estime que le papier retient environ 10% de la radioactivité présente sur une surface.
- 100 cm² : correspond à la surface de 10 cm x 10 cm qui est balayée avec le papier filtre lorsqu'on a fait le frottis.

Exemple : Après avoir fait un frottis de contrôle de la contamination sur une surface de travail (tritium), vous en faites le comptage. Le compteur donne 520 CPM, son blanc donne 53 CPM et l'efficacité de comptage est de 48%.

$$\begin{aligned} \text{Bq/cm}^2 &= \text{CPM nets} / (\text{efficacité de comptage} \times 60 \times 0,1 \times 100 \text{ cm}^2) \\ &= (520 - 53) / (0,48 \times 60 \times 0,1 \times 100 \text{ cm}^2) \\ &= 1,62 \end{aligned}$$

La contamination de la surface de travail ne dépasse pas les limites réglementaires de la CCSN du niveau de contamination. Par contre, la décontamination de cette surface contribuerait à diminuer au maximum l'exposition des utilisateurs à la radiation. **C'est la politique adoptée à l'Université Laval.**

Annexe 7

L'équipe de radioprotection

Le secteur de la radioprotection a été créé pour faciliter la gestion des matières radioactives utilisées sur le campus et pour assurer le respect des normes établies par la Commission canadienne de sûreté nucléaire. Il a comme mission de conseiller les utilisateurs et de leur donner un soutien constant. Ce secteur est géré par le Service de sécurité et de prévention. Il est composé de personnel de soutien et de personnel étudiant, sous la direction de Colette Tremblay, spécialiste des risques spécifiques et responsable de la radioprotection.

Le personnel

Spécialiste des risques spécifiques, responsable de la radioprotection

Mme Colette Tremblay
Pavillon Ernest-Lemieux
Service de sécurité et prévention
418 656-2131, poste 2893
colette.tremblay@ssp.ulaval.ca

Personnel technique et auxiliaire en radioprotection

Centre des matières dangereuses
Service de sécurité et prévention
418 656-2131, poste 8002
Courrier électronique : radioprotection@ssp.ulaval.ca ou sygemar-cueillette@ssp.ulaval.ca

Préposé aux produits chimiques et radioactifs

Centre des matières dangereuses
Service de sécurité et prévention
418 656-2131, poste 8347

ANNEXE 8 Réception de colis radioactifs



Commission canadienne
de sûreté nucléaire

Canadian Nuclear
Safety Commission

INFO-0744

LIGNES DIRECTRICES POUR LA MANUTENTION DES COLIS RENFERMANT DES SUBSTANCES NUCLÉAIRES

Identification des colis renfermant des substances nucléaires

L'emballage et l'étiquetage des substances nucléaires sont régis par le *Règlement sur l'emballage et le transport des substances nucléaires (RETSN)* de la Commission canadienne de sûreté nucléaire. Les substances nucléaires peuvent être expédiées à titre de « colis exceptés », de colis du « type A » ou du « type B », de « colis industriels du type 1, 2 ou 3 », et de « colis de matières fissiles ». L'étiquette de catégorie « radioactive » montre également les débits de dose de rayonnement.

Sur les colis exceptés, aucun étiquetage externe n'est requis, et la mention « RADIOACTIVE » doit être visible lorsqu'on ouvre le colis. Le niveau de rayonnement en tout point de la surface externe du colis ne doit pas dépasser $5 \mu\text{Sv/h}$. Tous les autres colis doivent être classés par niveau de rayonnement et comporter l'une des étiquettes de mise en garde contre les rayonnements suivantes :



Catégorie I - BLANC
Ne dépasse pas $5 \mu\text{Sv/h}$
en aucun point de la
surface externe du colis



Catégorie II - JAUNE
Ne dépasse pas $500 \mu\text{Sv/h}$
en aucun point de la
surface externe du colis
et l'indice de transport
ne dépasse pas 1



Catégorie III - JAUNE
Ne dépasse pas 2 mSv/h
en aucun point de la
surface externe du colis
et l'indice de transport
ne dépasse pas 10

L'indice de transport est le niveau de rayonnement maximal en microsieverts par heure à une distance d'un mètre de la surface externe du colis, divisé par 10.

Exemple : $1 \mu\text{Sv/h}$ ($0,1 \text{ mrem/h}$) à 1 m correspond à $IT = 0,1$.

Réception de colis radioactifs (suite)

Dès réception d'un colis renfermant des substances nucléaires, respectez une certaine distance. Examinez le colis afin de vérifier s'il est endommagé ou s'il y a une fuite. Si le colis est endommagé ou que vous constatez une fuite, confinez-le et isolez-le afin de réduire au minimum l'exposition au rayonnement et la contamination et conformez-vous à l'article 19 du *RETSN*.

Ouverture des colis renfermant des substances nucléaires

Responsable de la radioprotection

Numéro de téléphone

--	--

1. Si vous disposez d'un radiamètre approprié, vérifiez les champs de rayonnement autour du colis. Veuillez noter tout écart.
2. Évitez tout contact direct inutile avec des contenants non blindés.
3. Vérifiez la substance nucléaire, la quantité et d'autres renseignements précisés sur le bordereau d'expédition et sur le bon de commande. Enregistrez les renseignements détaillés sur l'expédition et notez toute anomalie dans le registre d'inventaire.
4. Signalez toute anomalie (niveau de rayonnement dépassant celui indiqué sur le colis, indice de transport inexact, contamination, fuite, expédition non rendue à destination ou mauvaise expédition) au responsable de la radioprotection.

Au moment d'ouvrir les colis renfermant des substances nucléaires non scellées, il convient de prendre les mesures additionnelles suivantes :

5. Portez des vêtements de protection lorsque vous manipulez le colis.
6. Si la matière est volatile (iode non lié, tritium, gaz radioactifs, etc.) ou sous forme de poudre, ouvrez le colis sous une hotte.
7. Ouvrez le colis extérieur et vérifiez si le contenu est endommagé, si les sceaux sont brisés, ou si le matériel d'emballage est décoloré. Si le contenu semble endommagé, isolez le colis afin d'éviter toute contamination ultérieure et avisez le responsable de la radioprotection.
8. Si aucun dommage n'est évident, effectuez un frottis sur le colis intérieur ou sur le contenant primaire qui contient la substance nucléaire non scellée. Si une contamination est détectée, effectuez une vérification de la contamination de l'emballage et, le cas échéant, de tout endroit en contact avec le colis. Confiner le produit contaminé, décontaminez-le, et évacuez-le conformément aux conditions du permis de substances nucléaires et d'appareils à rayonnement.

Pour plus de renseignements, communiquer avec la Direction de la réglementation des substances nucléaires, Commission canadienne de sûreté nucléaire, C.P. 1046, Succursale B, Ottawa (Ontario) K1P 5S9. Téléphone : 1 888 229-2672 Télécopieur : (613) 995-5086

The logo for the Government of Canada, featuring the word "Canada" in a serif font with a red maple leaf to the right.

ANNEXE 9
SYGEMAR
Système de gestion de matières radioactives

Types de contenants :

A	Chaudière de métal de 20 litres :	Fioles à scintillation et leur contenu (spécifiez si le liquide est biodégradable ou à base de toluène)
B	Boîte de carton	Déchets solides non coupants
C	4 litres à goulot large	Déchets solides coupants ou fioles à scintillation (en petit nombre seulement et spécifiez le type de liquide)
D	4 litres	Déchets liquides aqueux seulement
E	10 litres	Déchets liquides (indiquez si aqueux ou avec un solvant et si halogéné)
F	1 litre	Déchets solides très contaminés
G	1 litre	Bouteilles sources (disponible avec un blindage d'acrylique sur demande)
H	4 litres à goulot large	Bouteilles sources de format particulier

Résumé des étapes à suivre

1. Vous devez saisir toutes vos commandes de bouteilles dans la base de données.
2. Chaque fois que vous faites un prélèvement, vous devez l'inscrire.
3. Lorsque la bouteille est vide, cliquez sur « cette bouteille est vide ». Elle sera ensuite effacée de votre dossier.
4. Lorsque vous avez des déchets, vous entrez l'activité dans le contenant prévu à cet effet.
5. Lorsque le contenant est plein, cliquez sur « ramassez ce contenant » et un préposé ira le chercher. Vous pouvez également en demander un identique.

Notes

- Vous devez toujours inscrire la date comme elle est présentée, c'est-à-dire avec des tirets (-).
- Lorsque vous entrez une activité ayant des décimales, toujours mettre des virgules et non des points.
- Si vous avez validé une donnée, vous ne pouvez plus la modifier. Si vous voulez corriger l'erreur, vous devez le mentionner au personnel de la section radioprotection.

L'équipe de radioprotection
Téléphone : 656-2131, poste 8002

Voici un exemple d'un bordereau de livraison. Le numéro de commande de l'université à inscrire dans SYGEMAR est le numéro encerclé (à ne pas confondre avec le numéro de commande de Perkin-Elmer). Si ce numéro est précédé d'une série de zéros, ne pas les inscrire.

104	PerkinElmer Life Sciences	
NO COMMANDE/ORDER	PAGE	
051011552 2	1	
PerkinElmer - US PerkinElmer Life Sciences, Inc 89 Albany Street Boston MA 02118 US		
INDU A/ BLD TO: PERKINELMER CANADA INC. D1 ROWNTREE DAIRY ROAD UNIT #6 DODDRIDGE CA L4L 8H1 CA		
1-E		
LIVRER A/DELIVER TO: UNIVERSITY DE LAVAL REC DE MARCH PAU CHARLES EUGEN MARCHAND		
eee ee @ P @ @ e @ @ e @ eee e e		
CA/YUL Canada Associated Truc		
ISOTOPES: P-32 NO LABEL TRANS. INDEX: .0		
TOT ACTIVITY: (0.013639GBQ)(0.000369CI)		
ACHEMINEMENT/ ROUTE INFORMATION: L4L 0147		
A L'ATTENTION DE/ATTN:		
051011552 2		UL217942
No de COMMANDE/ORDER NO	BON DE	CLIENT/CUSTOMER PURCHASE ORDER NO.
DELAI DESTINATION:	VIA NONE	PORT DU COL.
PerkinElmer Life Sciences, Inc Boston MA 02118 US		