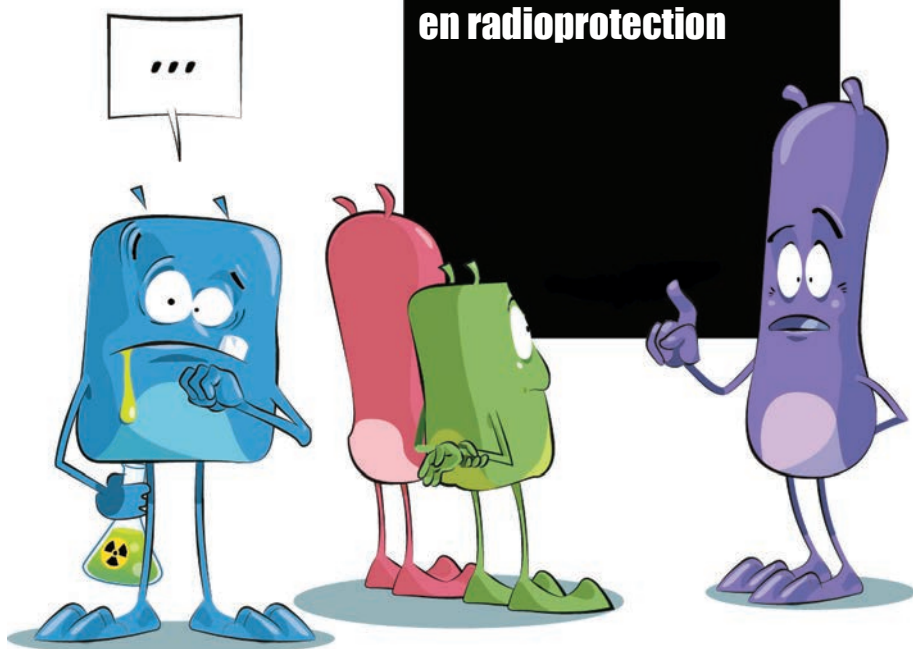


Marc Ammerich

Exercices de radioprotection

1

**Personnes compétentes
en radioprotection**



Exercices de radioprotection

**Tome 1 : Personnes compétentes
en radioprotection**

Exercices de radioprotection

**Tome 1 : Personnes compétentes
en radioprotection**

Marc Ammerich

Imprimé en France

ISBN (papier) : 978-2-7598-2324-6 - ISBN (ebook) : 978-2-7598-2346-8

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences, 2019

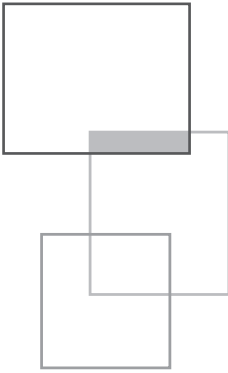
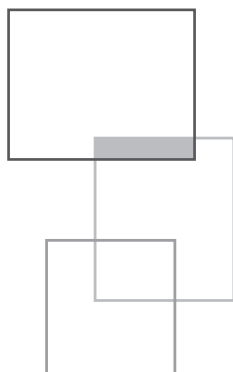


Table des matières

Introduction générale.....	7
QUESTIONS	9
Radioactivité.....	11
Interactions rayonnements matière.....	21
Grandeurs physiques – grandeurs de protection.....	25
Exposition externe.....	29
Exposition interne.....	35
Effets biologiques.....	41
Détection et mesures.....	45
Réglementation.....	55
RÉPONSES	63
Radioactivité.....	65
Interactions rayonnements matière.....	77
Grandeurs physiques – grandeurs de protection.....	81
Exposition externe.....	83

Exposition interne	89
Effets biologiques	93
Détection et mesures	95
Réglementation	101



Introduction générale

Depuis de nombreuses années, vous avez eu l'occasion de consulter ou d'acquérir des ouvrages de radioprotection pour tous les niveaux. Certains sont même assez anciens.

J'ai eu en commençant mes études à la fin des années 1970 l'ouvrage *Radioprotection pratique* de messieurs Rodier et Chassagny.

Tout le monde a également en mémoire le fameux *Vade-Mecum* de Raymond Pannetier. Vous connaissez probablement, par le même auteur, le grand tableau des radionucléides.

Plus récemment, la série des ouvrages pour les personnes compétentes de l'INSTN permet à ceux qui vont être désignés pour assurer cette fonction d'avoir une source d'informations importantes.

Il existe ensuite des ouvrages à des niveaux supérieurs, traitant de sujets particuliers, comme la radioactivité d'Yves Chelet ou la dosimétrie et l'exposition externe de Laurent Bourgois et Rodolphe Antoni.

Un prochain ouvrage écrit par Arnaud Boquet va concerner le niveau bac +2 en radioprotection.

Mais il n'existait pas à proprement parler de livrets d'exercices (en dehors de ceux proposés dans les ouvrages) déclinés sur plusieurs niveaux.

J'ai donc, avec les encouragements d'Henri Métivier et de mon éditeur EDP Sciences, rédigé trois livrets d'exercices pour combler cette petite lacune.

Chaque livret sera donc composé de la manière suivante : les énoncés sont regroupés dans la première partie et vous trouverez les corrigés dans la seconde partie.

Mais ne trichez pas ! Regardez les corrigés quand vous aurez terminé l'exercice, sauf si vous êtes totalement bloqué.

Je tiens à remercier ici Arnaud Boquet qui a été un relecteur attentif (et c'est assez rébarbatif de reprendre les exercices et les corrigés) des trois livrets et qui a donné son point de vue éclairé sur les niveaux.

Niveau PCR

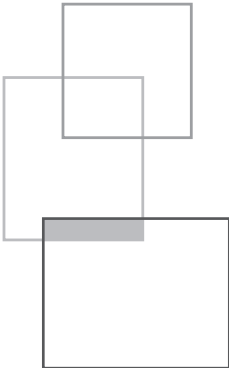
Ce livret est adapté à toute personne passant une formation PCR initiale ou un recyclage ; cela lui permettra de travailler tout le programme.

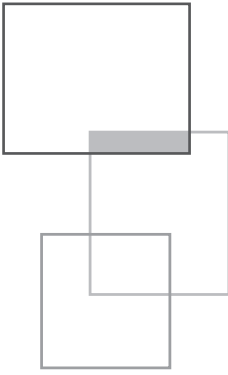
Mais c'est aussi un ouvrage adapté aux étudiants (bac, BTS, licence, master) voulant réviser rapidement les bases de la radioprotection ou à toute personne voulant tester sa culture en la matière.

Les commentaires d'Arnaud

Exercices intéressants, permettant de faire le tour des bases de la RP. Les exercices vont droit au but et on ne se perd pas en calculs interminables. Les applications numériques existent (heureusement, la RP reste un domaine scientifique), mais sont là pour répondre à la problématique de l'exercice rapidement. Ce qui est bien pour une personne ayant quitté l'école depuis longtemps mais souhaitant reprendre une formation PCR (qui peut durer trois semaines tout de même).

QUESTIONS





Radioactivité

Rappels

Processus naturel qui fait que certains atomes instables (déséquilibrés) reviennent dans un état de stabilité.

On désigne cette transformation sous le nom de désintégration.

Ce processus s'accompagne de l'émission de différents rayonnements : α β^- β^+ X γ (particulaires ou électromagnétiques). Dans le cas du rayonnement gamma, le phénomène est désigné par désexcitation.

Ces rayonnements sont porteurs d'énergie variant de quelques keV à 9 MeV (en dehors de processus d'accélération).

La grandeur ACTIVITÉ a pour unité du système international le becquerel.

1 désintégration par seconde = 1 Bq

La grandeur ACTIVITÉ est également liée à la PÉRIODE. C'est le temps nécessaire pour que l'activité diminue de moitié.

$$A = \frac{\text{Ln}2 \cdot N}{T}$$

Ce qui montre qu'il y a une décroissance radioactive au cours du temps, chaque atome radioactif ayant sa propre période.

$$A = A_0 \cdot e^{-\left(\frac{\text{Ln}2}{T} \cdot t\right)}$$

L'activité est propre à chaque produit radioactif car elle dépend de la période, qui est propre à chaque radionucléide. Plus la période est petite, plus la masse mise en jeu pour avoir une activité importante est petite.

La masse d'un produit radioactif m est donnée par la formule :

$$m = \frac{M \cdot N}{N_a}$$

M étant la masse molaire assimilable au nombre de masse et N_a le nombre d'Avogadro.

Un produit radioactif peut donner aussi par décroissance un autre produit radioactif. C'est le processus de filiation radioactive.

L'activation neutronique fait qu'un produit qui était stable devient radioactif.

Exercice n° 1

Désintégrations et désexcitations

Quelles sont les différentes désintégrations ? Plusieurs réponses possibles :

- ❶ α
- ❷ β moins
- ❸ β plus
- ❹ γ
- ❺ Capture électronique
- ❻ Conversion interne

Quelles sont les différentes désexcitations ? Plusieurs réponses possibles :

- ❶ α
- ❷ β moins
- ❸ β plus
- ❹ γ
- ❺ Capture électronique
- ❻ Conversion interne

Quels sont les rayonnements qui produisent un spectre de raies ? Plusieurs réponses possibles :

- ❶ α
- ❷ β moins
- ❸ β plus
- ❹ γ
- ❺ X

Quels sont les rayonnements qui produisent un spectre continu ? Plusieurs réponses possibles :

- ❶ α
- ❷ β moins
- ❸ β plus
- ❹ γ
- ❺ X

Quand un radionucléide se désintègre selon plusieurs voies ou modes, la somme des intensités des désintégrations est :

- ❶ Inférieure à 100 %
- ❷ Égale à 100 %
- ❸ Supérieure à 100 %

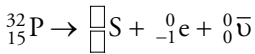
Exercice n° 2

Écrire les réactions de désintégration :

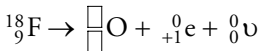
Alpha



Bêta moins



Bêta plus



Capture électronique



Exercice n° 3

Dans le domaine de la radioactivité (pas d'accélération de particules)

Quelle est la plage en énergie pour le rayonnement alpha ?

- ❶ 10 eV à 1 keV
- ❷ 1 keV à 100 keV
- ❸ 10 keV à 3 MeV
- ❹ 100 keV à 1 MeV
- ❺ 4 à 9 MeV
- ❻ 10 MeV à 1 GeV

Quelle est la plage en énergie pour le rayonnement bêta ?

- ❶ 10 eV à 1 keV
- ❷ 1 keV à 100 keV
- ❸ 10 keV à 3 MeV
- ❹ 100 keV à 1 MeV
- ❺ 4 à 9 MeV
- ❻ 10 MeV à 1 GeV

Quelle est la plage en énergie pour le rayonnement gamma ?

- ❶ 10 eV à 1 keV
- ❷ 1 keV à 100 keV
- ❸ 10 keV à 3 MeV
- ❹ 100 keV à 1 MeV
- ❺ 4 à 9 MeV
- ❻ 10 MeV à 1 GeV

Quelle est la plage en énergie pour le rayonnement X ?

- ❶ 10 eV à 1 keV
- ❷ 1 keV à 100 keV
- ❸ 10 keV à 3 MeV
- ❹ 100 keV à 1 MeV
- ❺ 4 à 9 MeV
- ❻ 10 MeV à 1 GeV

Exercice n° 4

Les unités en radioactivité

L'unité d'activité du **système international** est le...

- ❶ Becquerel
- ❷ Gray
- ❸ Sievert
- ❹ Curie

La relation entre le becquerel et le curie est :

- ❶ 1 Ci = 37 MBq
- ❷ 1 Ci = 74 MBq
- ❸ 1 Ci = 37 GBq
- ❹ 1 Ci = 3,7 GBq

Exercice n° 5*La période ou demi-vie*

Qu'est-ce que la période radioactive d'un radionucléide ?

- ❶ La durée nécessaire pour rendre un élément naturel stable, radioactif
- ❷ Le temps de présence du radioélément dans l'organisme
- ❸ Le temps nécessaire à l'activité pour diminuer de moitié

Un radionucléide a une période de 12 heures. De combien son activité a-t-elle décréu au bout de 3 jours ?

- ❶ D'un facteur 2
- ❷ D'un facteur 16
- ❸ D'un facteur 64
- ❹ D'un facteur 256

Exercice n° 6

Un radionucléide a une période égale à 15 jours ; son activité est égale à 4 mégabecquerels. Quelle sera son activité au bout de deux mois ?

Exercice n° 7

Le phosphore-32 a une période égale à 14 jours ; son activité est égale à 74 mégabecquerels.

- a) Quelle sera son activité au bout de 7 jours ?
- b) Quelle sera son activité au bout de 100 jours ?

Exercice n° 8

L'iode-131 a une période de 8 jours. L'activité initiale est de 100 MBq.

- a) Quelle est l'activité au bout de 24 jours ?
- b) À quelle masse d'iode radioactif cela correspond-t-il, à l'instant initial ?
- c) La principale émission gamma a une énergie de 364 keV avec une intensité de 85 %. Quel est le taux d'émission de ce rayonnement au temps initial ?
- d) Quelles sont les interactions possibles de ce rayonnement gamma avec la matière ?

Exercice n° 9

Le sodium-24 a une période de 15 heures. L'activité finale est de 100 kBq au bout de 5 jours.

- Quelle est l'activité initiale ?
- À quelle masse de sodium radioactif cela correspond-t-il (à l'instant initial) ?
- Une émission gamma a une énergie de 1 368 keV avec une intensité de 100 %. Quel est le taux d'émission de ce rayonnement au temps initial ?
- Quelles sont les interactions possibles de ce rayonnement gamma avec la matière ?

Exercice n° 10

Une bonbonne d'effluents liquides contient 10 millicuries d'un radionucléide ayant une période égale à $T = 6$ heures. Calculez le temps de stockage nécessaire pour que l'activité soit égale à 5 mégabecquerels.

Exercice n° 11

Le cuivre-64 se désintègre par émission bêta moins, bêta plus et par capture électronique. Les caractéristiques des rayonnements émis sont les suivantes :

$E_{\beta\text{-max}} = 578 \text{ keV}$	$I_{\beta\text{-}} = 36,8 \%$
$E_{\beta\text{+max}} = 653 \text{ keV}$	$I_{\beta\text{+}} = 18,1 \%$
$E_{\gamma} = 1\,345 \text{ keV}$	$I = 0,5 \%$

- Quel est le pourcentage des désintégrations par capture électronique ?
- Quel sera le taux d'émission du rayonnement gamma de 1 345 keV (nombre de gamma émis par seconde) pour une source d'activité 5 MBq ?
- La source précédente étant entourée d'une protection absorbant totalement les rayonnements bêta moins et bêta plus, quel sera le taux d'émission du rayonnement d'annihilation de 511 keV ?
- La période du cuivre-64 étant de 12,7 heures, quelle sera l'activité au bout de 38,1 heures ?
- Quelle sera l'activité en microcuries au bout de 50 heures ?

Exercice n° 12

Dans le domaine médical, on se sert de plus en plus de la tomographie par émission de positons. Le radionucléide le plus utilisé est le fluor-18.

Le fluor-18 a une période de 110 minutes. Il se désintègre par capture électronique dont l'intensité d'émission est de 3 % et par émission d'un bêta plus (le restant de l'intensité d'émission).

On utilise une source dont l'activité initiale est de 630 MBq.

- Quel est le pourcentage des désintégrations par émission bêta plus ?
- Quel sera le taux d'émission du rayonnement du rayonnement d'annihilation de 511 keV ?
- À quelle masse de fluor radioactif cela correspond-t-il, à l'instant initial ? Vous donnerez aussi la valeur de l'activité spécifique en becquerel par gramme.
- On injecte à l'instant initial l'activité à un patient. Il reste 0,01 % de l'activité dans la seringue. Calculez l'activité résiduelle au bout de 8 heures.
- Au bout de combien de temps reste-t-il 100 Bq dans la seringue ? Vous donnez la valeur en heures.
- Quelles sont les interactions possibles de ce rayonnement de 511 keV avec la matière ?

Exercice n° 13

Une source ponctuelle de cobalt-60 (^{60}Co) destinée à la gammagraphie a été perdue à proximité d'une usine de ferrailage à Taïwan, il y a 40 ans maintenant (c'est le plus pur hasard bien entendu). On a fabriqué de nombreux objets en acier contaminé (fer à béton, barrettes métalliques, boîtiers de montre, etc.)

À l'époque, elle avait les caractéristiques suivantes :

$$E_{\beta 1 \text{ max}} = 318 \text{ keV} - I_{\beta 1} = 100 \%$$

$$E_{\gamma 1} = 1\,173 \text{ keV} - I_{\gamma 1} = 100 \%$$

$$E_{\gamma 2} = 1\,332 \text{ keV} - I_{\gamma 2} = 100 \%$$

Activité initiale de la source : 50 Ci

Période du cobalt-60 : 5,27 ans

- Quelle est la valeur en becquerels à l'instant initial ?
- À quelle masse de cobalt radioactif cela correspond-t-il, à l'instant initial ?
- Quelle est l'activité aujourd'hui en becquerels ?
- Quels sont les taux d'émission des rayonnements gamma au temps initial ?
- Quelles sont les interactions possibles des rayonnements gamma avec la matière ?

Exercice n° 14

Une source ponctuelle de césium-137 (^{137}Cs) est utilisée comme jauge de niveau dans une industrie d'embouteillage de canettes et de fûts métalliques pour des liquides à consommer avec modération.

Elle a les caractéristiques suivantes :

$$E\beta_1 \text{ max} = 514 \text{ keV} - I\beta_1 = 95 \%$$

$$E\beta_2 \text{ max} = 1\,176 \text{ keV} - I\beta_2 = ?$$

$$E\gamma_1 = 662 \text{ keV} - I\gamma_1 = 85 \%$$

Période du césium-137 : 30 ans

- Quel est le pourcentage de la désintégration bêta 2 ?
- La masse de la source à l'instant initial étant de 12,43 mg, quelle est son activité ? Vous donnerez la valeur de l'activité en becquerels.
- Quelle sera l'activité de la source dans 10 ans, en becquerels, date à laquelle elle sera restituée à un fournisseur ?
- Quel est le taux d'émission du rayonnement gamma d'énergie 662 keV, au temps initial ?
- L'effet de création de paires est-il possible avec ce rayonnement électromagnétique ? Justifiez votre réponse.

Exercice n° 15

Filiation radioactive

Le technétium-99m est utilisé en médecine nucléaire à des fins diagnostiques et thérapeutiques. Il est issu de la décroissance du molybdène-99. On l'obtient par élution (séparation chimique).

Le molybdène-99 a une période de 66 heures. Le technétium 99m a une période de 6 heures.

- Si l'activité initiale en molybdène-99 est égale à 37 gigabecquerels, calculez son activité au bout de 12 heures. Calculez également l'activité en technétium-99m au bout de ce même temps.
- L'activité en technétium-99m sera maximum au bout de 23 heures et égale à celle du molybdène. Quelle sera cette activité ?

- c) la définition et à la mise en œuvre des dispositions relatives aux conditions d'emploi des travailleurs, notamment celles concernant l'évaluation individuelle du risque lié aux rayonnements ionisants, les mesures de protection individuelle et l'information et la formation à la sécurité des travailleurs ;
- d) la définition et à la mise en œuvre des dispositions relatives à la surveillance de l'exposition individuelle des travailleurs prévue à la section 9 du présent chapitre en liaison avec le médecin du travail ;
- e) la coordination des mesures de prévention relatives à la radioprotection ;
- f) l'élaboration des procédures et moyens pour la décontamination des lieux de travail susceptibles de l'être ;
- g) l'enquête et l'analyse des événements significatifs.

3°) Exécute ou supervise :

- a) les mesurages ;
- b) les vérifications de l'efficacité des moyens de prévention à l'exception des vérifications initiales.

Exercice n° 10

Le dossier médical individuel est constitué par :

- 1) L'évaluation individuelle de l'exposition aux rayonnements ionisants transmise par l'employeur.
- 2) Les résultats du suivi dosimétrique individuel, ainsi que la dose efficace.
- 3) Le cas échéant, les expositions ayant conduit à un dépassement des valeurs ainsi que la dose reçue au cours de ces expositions.
- 4) Les résultats des examens complémentaires prescrits par le médecin du travail.

En cas d'événement significatif ou de dépassement des valeurs limites, le médecin du travail qui estime que l'exposition d'un travailleur peut constituer un événement significatif, en informe :

L'employeur et le conseiller en radioprotection sous une forme nominative excluant toute notion quantitative de dose.

La visite médicale pour un travailleur classé en catégorie A est renouvelée :

- ② Tous les ans

La visite médicale pour un travailleur classé en catégorie B est en principe renouvelée :

- ③ Tous les deux ans

Exercices de radioprotection

① Personnes compétentes en radioprotection

Marc Ammerich

Ce livre est adapté à toute future personne compétente en radioprotection. Elle trouvera un certain nombre d'exercices équivalents à ceux qui seront posés lors de l'examen. Il sera également un bon support pour les étudiants (bac, BTS, licence, master) voulant réviser rapidement les bases de la radioprotection. Enfin ce livre peut permettre à toute personne ayant suivi des formations en la matière, de tester rapidement ses connaissances.

Ce sont près de trente ans d'enseignement et de conception d'exercices et de problèmes qui me permettent de vous proposer ce livre.

*Écrit par **Marc Ammerich**, ancien inspecteur nucléaire au commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, travaillant dans le domaine de la radioprotection depuis plus de trente ans. Il est également membre du groupe permanent d'experts radioprotection de l'ASN (GPRADE), membre de la SFRP dans la commission PCR, la commission enseignement et le club histoire. Il est co-fondateur du site Internet « radioprotection cirкус » (www.rpcirkus.org). Il est co-auteur de la série des livres de formation à destination des PCR (4 tomes) et auteur de l'ouvrage grand public « la radioactivité sous surveillance et autres notions en radioprotection ».*

ISBN : 978-2-7598-2324-6

