

4^{ème} année
(D.F.A.S.P.1)

TRAVAUX PRATIQUES

UE48

**« *RADIOACTIVITE et APPLICATIONS
PHARMACEUTIQUES* »**

ANNEE 2024 – 2025

RESPONSABLE : Dr Ghazlene MEKHLouFI, Service de Physique
ghazlene.mekhloufi@universite-paris-saclay.fr

Salles 3215 et 3220

Consignes et recommandations

Il est rappelé que l'**assiduité aux travaux pratiques est obligatoire**.

- **Tout retard à une séance de travaux pratiques supérieur à 10 minutes** pourra entraîner une non autorisation à participer à la séance et équivaldra à une absence non justifiée. La séance ne pourra pas être rattrapée.
- Toute **absence** doit être **justifiée** dans les **48h** à l'enseignant responsable des travaux pratiques **et** à la scolarité. Cette séance devra être rattrapée. Le rattrapage doit être programmé avec la responsable des TP de l'UE48.
- Toute absence non justifiée entraînera **une non autorisation à passer les sessions d'examens**.
- Toute absence justifiée prévisible (ex : permis de conduire...) doit être signalée **à l'avance** à la responsable des TP afin d'envisager un rattrapage.
- Une session de contrôle continu de 30 minutes est prévue à la fin de la séance de TP.

Pour des raisons de sécurité, il est nécessaire que le nombre d'étudiants dans la salle de TP ne dépasse pas 12. Veuillez donc respecter vos groupes.

Enseignant à contacter : Dr Ghazlene MEKHLOUFI
ghazlene.mekhloufi@universite-paris-saclay.fr

Avant de venir à la séance de TP, il vous est demandé d'étudier la partie théorique du polycopié concernant la ou les manipulation(s) que vous allez réaliser.

Vous devez venir en séance muni de **votre polycopié, d'une calculatrice, d'une règle, ...**

Lors des séances de TP, il vous est demandé **d'appliquer la charte des travaux pratiques** et en particulier de **porter systématiquement une blouse** et de **respecter les consignes de sécurité présentées dans le polycopié (et lors de la séance)**.

Les **étudiantes enceintes** ou pensant l'être au moment de la séance de TP doivent prendre contact avec l'enseignant responsable du TP pour un réaménagement de la séance.

TOUTE PERSONNE NE PORTANT PAS DE BLOUSE SERA AUTOMATIQUEMENT NON AUTORISÉE À PARTICIPER À LA SÉANCE PRATIQUE DE TP.

Pour chacune des manipulations, il vous est demandé de remplir **une feuille de résultats au cours de la séance**. Vous porterez une attention particulière aux unités des grandeurs mesurées et aux chiffres significatifs des résultats numériques.

Lorsque vous tracez un **graphe**, vous devez :

- lui donner **un titre** ;
- faire figurer **une légende** s'il y a plusieurs courbes à identifier ;
- faire apparaître sur les **axes** les grandeurs reportées, leur **unité** et **l'échelle** utilisée. Cette dernière doit être lisible et facile d'utilisation ;
- reporter les **barres d'incertitude** sur les mesures expérimentales.

SOMMAIRE

I. GÉNÉRALITÉS

I-1 Le rayonnement radioactif

I-2 Le compteur Geiger-Müller

I-3 L'activité d'une source

II. ASPECT PROBABILISTE DE LA DÉSINTÉGRATION RADIOACTIVE

II-1 Généralités - La loi de désintégration

II-2 Interprétation probabiliste de la désintégration

OBJET DE LA MANIPULATION

III. CONSIGNES DE RADIOPROTECTION SOURCE SCELLÉE

III-1 Equipement individuel de protection

III-2 Recommandations générales

III-3 Recommandations pour la manipulation de la source

III-4 Conduite à tenir en cas d'incident – accident et incendie

PARTIE A

IV. ASPECTS PHYSIQUES DU RAYONNEMENT RADIOACTIF

IV-1 Loi d'absorption

IV-2 Mode opératoire

PARTIE B

V. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE RADIOPROTECTION

I. GÉNÉRALITÉS

I-1 LE RAYONNEMENT RADIOACTIF

On appelle rayonnement radioactif, le rayonnement qui émane de sources radioactives (découvert par Henri Becquerel en 1896). On observe trois types de rayonnement:

- les **particules α** sont des noyaux d'hélium (${}^4_2\text{He}$);
- les **particules β** sont des électrons (β^-) ou des positrons (β^+);
- les **photons γ** sont des photons très énergétiques (ondes électromagnétiques de longueurs d'onde plus courtes que celles des rayons X).

Le diagramme de la figure 1, relatif à la désintégration β^- du ${}^{137}\text{Cs}$, permet de comprendre la diversité du rayonnement radioactif. Il représente certains niveaux d'énergie nucléaire du ${}^{137}\text{Cs}$ et du ${}^{137}\text{Ba}$. Les niveaux inférieur et intermédiaire représentent respectivement l'état fondamental (${}^{137}\text{Ba}^\circ$) et un état excité (${}^{137}\text{Ba}^*$) du noyau de baryum 137. Le niveau supérieur (${}^{137}\text{Cs}$) correspond au noyau de césium 137 radioactif.

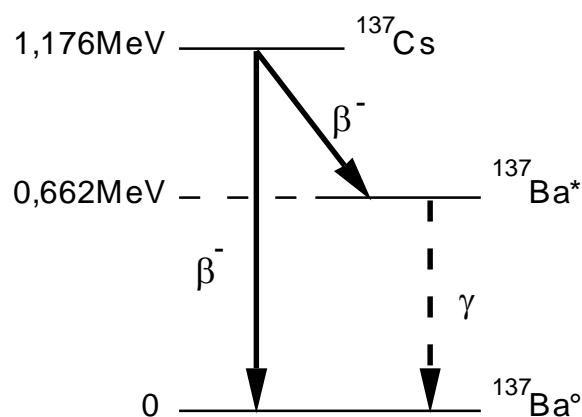


Fig. 1

Celui-ci peut perdre de l'énergie par transition d'un état à l'autre selon deux processus distincts :

- soit par une transition (${}^{137}\text{Cs}$) \rightarrow (${}^{137}\text{Ba}^\circ$) avec émission d'un électron d'énergie maximale 1,176 MeV, cette éventualité se produisant avec une probabilité de 7%.
- soit par une transition (${}^{137}\text{Cs}$) \rightarrow (${}^{137}\text{Ba}^*$) avec émission d'un électron d'énergie maximale 0,514 MeV, cette seconde éventualité se produisant avec une probabilité de 93%. La durée de vie du (${}^{137}\text{Ba}^*$) étant très brève (2,55 min), celui-ci se désexcite rapidement en émettant un photon γ d'énergie 0,662 MeV.

I-2 LE COMPTEUR GEIGER-MÜLLER

Le compteur Geiger-Müller est un détecteur de rayonnement radioactif comportant un récepteur de particules associé à un appareil électronique analyseur de signal.

- Le récepteur est constitué d'un tube métallique porté à un potentiel négatif (cathode) par rapport à un fil conducteur situé en son axe (anode). L'une des extrémités du tube est fermée par une membrane, la fenêtre, perméable au rayonnement radioactif. L'ensemble, hermétiquement clos, contient de l'argon sous une pression d'environ une atmosphère. La tension appliquée entre les deux électrodes est comprise entre 500 V et 600 V. En l'absence de

rayonnement, le récepteur se comporte comme un condensateur, aucun courant ne circule dans le circuit qui l'alimente.

- Lorsqu'un rayonnement radioactif (β ou γ) pénètre dans le récepteur, celle-ci provoque l'ionisation des atomes du gaz par collision ou effet photoélectrique. Les électrons ainsi libérés, se trouvant au voisinage de l'anode où le potentiel est très élevé, sont fortement accélérés et provoquent l'ionisation d'autres atomes par collision, de sorte que, très rapidement (10^{-7} s), une gaine d'ions positifs se forme autour de l'anode puis se déplace vers la cathode. Cette migration correspond à un courant dans le récepteur d'une durée de 10^{-4} s environ. Cette impulsion en courant est analysée par un circuit électronique associé (comparateur de signal): l'appareil enregistre une unité si l'impulsion est supérieure à une valeur de référence et zéro dans le cas contraire.

- Le régime de Geiger-Müller correspond au domaine de valeurs des paramètres (tension dans le récepteur, signal de référence) pour lesquels le comptage s'effectue objectivement c'est-à-dire indépendamment de la nature du rayonnement et de son énergie.

Conséquences pratiques

- i) L'appareil détecte indifféremment les rayonnements β ou γ avec des rendements distincts mais cet aspect ne sera pas pris en compte dans la séance de TP.
- ii) Lorsque le compteur a détecté une particule, il lui faut une durée de 10^{-4} s pour qu'il puisse en détecter une autre de sorte qu'on ne peut envisager un comptage supérieur à 10 000 coups par seconde.

I-3 L'ACTIVITÉ D'UNE SOURCE

La mise au point des compteurs de particules a permis de caractériser quantitativement une source radioactive. *On appelle activité d'une source, le nombre de désintégrations qui s'y produisent, par unité de temps.* L'accès expérimental à cette grandeur nécessite un compteur et un chronomètre, il suffit alors de procéder à une mesure simultanée du nombre de particules détectées n_d et du temps τ :

$$A = \frac{n_d}{\tau}$$

Remarque : L'activité mesurée n'est pas l'activité réelle de la source pour plusieurs raisons :

- les particules qui pénètrent dans le récepteur ne sont pas toutes prises en compte, le comptage se fait avec un certain rendement ;
- il peut y avoir plusieurs types de particules détectées ; or le rendement du compteur dépend en général de la nature des particules ;
- le récepteur ne capte que les particules comprises dans l'angle solide sous-tendu par la fenêtre d'entrée du tube.

Dans le cadre de cette séance de TP, on assimilera, par abus de langage, l'activité mesurée à l'activité réelle.

II. ASPECT PROBABILISTE DE LA DÉSINTÉGRATION RADIOACTIVE

II-1 GÉNÉRALITÉS - LOI DE DÉSINTÉGRATION

Une source radioactive étant le siège de désintégrations en permanence, le nombre de noyaux radioactifs qu'elle contient décroît avec le temps. Si on appelle $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant t , la loi de décroissance radioactive s'écrit alors :

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

où N_0 représente le nombre de noyaux radioactifs à l'instant initial $t = 0$;

λ est la constante radioactive (=probabilité de désintégration par seconde) ; λ s'exprime en s^{-1} .

On appelle T la période ou demi-vie du radioélément. T s'exprime en s. T étant le temps au bout duquel le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon est divisé par 2, on retrouve alors la relation suivante : $T = \ln 2 / \lambda$

La constante radioactive λ ainsi que la période T caractérisent le phénomène de désintégration et ne dépendent que de la nature de l'isotope concerné.

Remarque. Les périodes des radioéléments couvrent un domaine de valeurs extrêmement large allant de la fraction de seconde à plusieurs milliards d'années. A titre d'exemple, l'iode 139 a une période de 2 s, celle du potassium 40 est de 1,3 milliard d'années. Le césium 137 utilisé dans ce T.P. a une période de 30,1 ans.

Comme nous l'avons vu précédemment, on définit l'activité de la source A comme étant le nombre de désintégrations par seconde. Elle s'écrit :

$$A(t) = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N(t)$$

$A(t)$ suit également une décroissance exponentielle du type $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$ et s'exprime, dans l'unité SI en Becquerel (Bq) = 1 dés/s. On rencontre également régulièrement une unité plus ancienne, le Curie (Ci) :

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ dés/s} = 3,7 \text{ GBq}$$

II-2 INTERPRÉTATION PROBABILISTE DE LA DÉSINTÉGRATION

Au niveau microscopique, la désintégration d'un noyau isolé est un événement aléatoire qui peut être interprété en terme probabiliste.

Déterminons la loi de probabilité qui donne la fréquence de réalisation d'un évènement aléatoire, *désintégration d'un noyau pendant un intervalle de temps $\Delta t = \tau$* , Δt devant être très petit devant la période radioactive T de l'élément de façon à pouvoir considérer que le nombre de noyaux présents dans l'échantillon reste constant. On notera N_d cette variable aléatoire.

Si on suit la démarche vue en cours de statistiques de 1^{ère} année des études de pharmacie, on définit :

- L'expérience (ou épreuve) élémentaire : on « regarde » par la pensée un noyau de l'échantillon. Dans ce cas, 2 résultats sont possibles, le noyau se désintègre (avec la probabilité p), ou il ne se désintègre pas (avec la probabilité ($q = 1-p$)). C'est donc un évènement de Bernoulli ;
- L'évènement élémentaire associé à N_d sera donc : ce noyau se désintègre dans l'intervalle de temps τ avec la probabilité p ;
- L'expérience élémentaire est répétée n fois de façon identique et indépendante, autant de fois qu'il y a de noyaux dans l'échantillon.

La variable aléatoire, N_d , *nombre de désintégrations pendant l'intervalle de temps τ* est donc une variable discrète qui suit une loi Binômiale $B(n, p)$. La valeur de la probabilité pour que $N_d = k$ est alors donnée par la relation suivante :

$$\Pr(N_d = k) = C_n^k p^k q^{n-k} \quad \text{avec } C_n^k = \frac{n!}{k! (n-k)!}$$

Rappel : $n! = n(n-1)(n-2) \dots ; 0! = 1 ; 1! = 1$

Les paramètres caractéristiques de la loi Binômiale sont :

Moyenne $E(N_d) = n.p$

Variance $V(N_d) = n.p.q$

Ecart-type $\sigma(N_d) = \sqrt{n.p.q}$

Rappel : soit X , une variable aléatoire discrète quelconque, on a alors les formules générales suivantes :

$$E(X) = \sum_i x_i P_i$$

$$V(X) = E[(x_i - E(X))^2] = E(X^2) - [E(X)]^2$$

$$\sigma(X) = \sqrt{V(X)}$$

a) Approximation de la loi Binômiale par une loi de Poisson :

Lorsque les paramètres caractéristiques de la loi Binômiale sont tels que :

- $p < 0,1$,
- $E(N_d) < 10$ et
- nombre de répétitions identiques indépendantes (ici = nombre de noyaux radioactifs dans l'échantillon) très grand (> 30),

alors la loi Binômiale peut être approximée par la loi de Poisson, $P(m)$, loi des évènements rares, où m est la moyenne, $m = n.p$. Dans le cas d'une loi de Poisson, $P(m)$, le calcul de la probabilité pour que $N_d = k$ se simplifie :

$$\Pr(N_d = k) = \frac{e^{-m}}{k!} m^k$$

et les paramètres caractéristiques deviennent : $m = E(N_d) = n.p = V(N_d)$ et $\sigma(N_d) = \sqrt{n.p} = \sqrt{m}$. Cette loi ne dépend plus que du seul paramètre m .

Dans le cas de la radioactivité, cette approximation peut être justifiée lorsque l'activité de la source étudiée est très faible ou lorsque le rayonnement reçu par le détecteur est atténué par l'intercalation entre celui-ci et la source d'écrans appropriés par exemple.

b) Approximation de la loi Binômiale par une loi Normale :

Lorsque le nombre moyen de désintégrations pendant le temps τ , mesuré par le détecteur, $E(N_d)$, devient supérieure à 10, l'approximation de Poisson n'est plus valable et la loi Binômiale $B(n, p)$ peut dans certains cas être approximée par la loi Normale (ou loi de Gauss) notée $N(m, \sigma)$ (voir cours 1^{ère} année), où m représente la moyenne et σ l'écart-type associé à cette valeur moyenne. La variable aléatoire étant dans ce cas une variable continue, une fonction densité de probabilité, $f(x)$, est définie de la façon suivante :

$$f(N_d) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N_d - m)^2}{2\sigma^2}}$$

Graphiquement, cette fonction est une courbe en cloche, symétrique par rapport à la valeur moyenne m .

Remarque : L'approximation de la loi Binomiale par la loi Normale est d'autant plus valable que p est proche de 0,5. En revanche, pour les probabilités faibles, les conditions de validité doivent être examinées de près, en particulier il faut que le nombre de répétitions soit très élevé (grand nombre de noyaux radioactifs dans l'échantillon). On admettra qu'en radioactivité, lorsque $E(N_d) > 10$, ces conditions sont satisfaites et que la loi Binomiale peut être approchée par une loi Normale. L'intérêt de cette approximation réside dans la propriété suivante :

La probabilité pour qu'une valeur x de la variable aléatoire X se trouve dans l'intervalle de confiance $[m-2\sigma ; m+2\sigma] = 95\%$

Autrement dit, si l'on effectue une mesure unique, il y a 95 % de chance que le résultat obtenu approche la valeur moyenne à 2σ près. Si l'on estime que cette probabilité de 95 % est suffisante, alors une seule mesure permet d'«estimer» à la valeur moyenne de la variable aléatoire N_d , nombre de désintégrations pendant l'intervalle de temps τ . L'intervalle d'amplitude $\pm 2\sigma$ autour de cette valeur peut être assimilé à un domaine d'incertitude expérimentale.

OBJET DE LA MANIPULATION

La séance de TP est divisée en deux parties durant chacune 1h30.

La Partie A de la séance est consacrée à l'étude de l'absorption du rayonnement par la matière et la Partie B à l'application de la radioprotection (étude de poste). Ces deux sujets ne sont pas indépendants, la préparation de cette séance de TP requiert la lecture attentive des deux parties :

- PARTIE A : *Aspects physiques du rayonnement radioactif.*
- PARTIE B : *Principes généraux de radioprotection : Une étude de poste.*

Chaque partie débutera par un quart d'heure de formation sur les consignes de radioprotection et les bons gestes à avoir lors de la manipulation de la source scellée de ^{137}Cs .

III. CONSIGNES DE RADIOPROTECTION SOURCE SCÉLÉE

III-1 EQUIPEMENT INDIVIDUEL DE PROTECTION

Le port de la **blouse est OBLIGATOIRE**, comme pour les autres TP.

III-2 RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

Il est formellement interdit :

- de dégrader la source en cassant le support,
- d'introduire un objet pointu au niveau de la surface active (voir figure 2),
- d'approcher trop près la source des yeux (pour regarder de plus près),
- de décrocher la source scellée du compteur (ne pas enlever la chaînette),
- d'emporter avec soi la source.

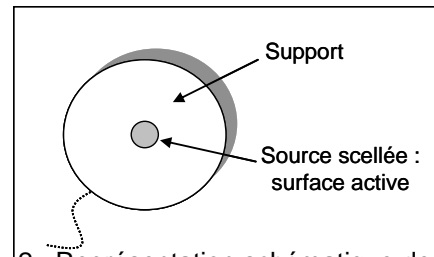


Fig. 2 : Représentation schématique de la source scellée de Césium 137 reliée avec une chaînette au compteur.

Comme pour tout TP, il est formellement interdit d'introduire dans la salle de travaux pratiques de la nourriture, de la boisson et des ustensiles utilisés pour manger ou boire.

III-3 RECOMMANDATIONS POUR LA MANIPULATION DE LA SOURCE

La source est scellée dans un support (anneau plastique rigide). Il est recommandé lors de la manipulation de la source de la tenir par ce support et d'éviter de mettre les doigts au niveau de la surface active pour ainsi minimiser l'exposition des extrémités aux rayonnements β et γ .

Lorsqu'elle est stockée, cette source est placée dans le compartiment « entreposage écrans » du compteur, entre des écrans en aluminium de chaque côté puis entre deux épaisseurs d'écran en plomb (de 5 mm d'épaisseur) de chaque côté. Il est obligatoire de remettre la source entre ces écrans de plomb en fin de TP (voir figure 3).

Pour minimiser le temps d'exposition, la source doit être remise en fin de mesure (entre chaque partie du TP) dans le compartiment «entreposage écrans » comme indiqué ci-dessus.

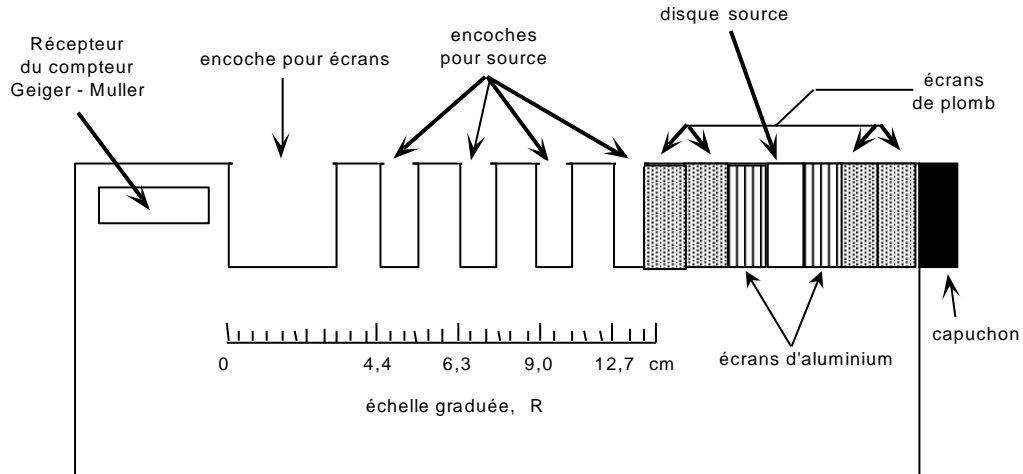


Fig. 3

III-4 CONDUITE A TENIR EN CAS D'INCIDENT – ACCIDENT ET INCENDIE

- Avertir les pompiers
A partir d'un poste intérieur : 18
- Signaler l'incendie au numéro interne d'urgence : 01 69 15 46 32

INCIDENT – ACCIDENT

En cas d'incident ou d'accident radioactif, prévenir immédiatement l'enseignant qui avertira la Personne Compétente en Radioprotection ou Conseiller en radioprotection (nom et numéro de poste affichés dans la salle de TP).

PARTIE A

IV. ASPECTS PHYSIQUES DU RAYONNEMENT RADIOACTIF

IV-1 LOI D'ABSORPTION

L'intensité du rayonnement radioactif, à la sortie d'un matériau d'épaisseur x , suit la loi suivante :

$$I = I_0 e^{-\mu_L x} = I_0 2^{-\frac{x}{x_{1/2}}} \quad \text{avec } \mu_L x_{1/2} = \ln 2$$

où I_0 est l'intensité incidente; μ_L est le coefficient d'absorption linéaire; et $x_{1/2}$ est la demi-épaisseur ou couche de demi-atténuation (épaisseur du matériau réduisant de moitié l'intensité du rayonnement).

Le coefficient d'absorption (ou la demi-épaisseur $x_{1/2}$) dépend de la nature de l'écran et du type de rayonnement. Par exemple, pour des radiations γ d'une énergie de 100 keV, le coefficient μ_L vaut 50 cm^{-1} pour le plomb et $0,5 \text{ cm}^{-1}$ pour l'aluminium. Il faudra donc un écran d'aluminium environ 100 fois plus épais qu'un écran de plomb pour obtenir la même atténuation.

Pour un matériau donné, les rayons β sont beaucoup moins pénétrants que le rayonnement γ , en particulier pour les énergies du rayonnement étudié lors de cette manipulation. On peut considérer qu'un écran de plomb de 5 mm ne laisse pas passer les rayons β .

IV-2 MODE OPÉRATOIRE

IV-2-1 L'APPAREIL

L'appareil utilisé pour cette manipulation est un ensemble monobloc conçu pour l'enseignement (compteur C.R.A.B. fabriqué par JEULIN) (Figure 4). Sa présentation simple en facilite l'usage.



Fig. 4

Il comporte sur sa face avant un compteur à affichage digital avec un bouton de remise à zéro ; en outre, un bouton à décades permet de sélectionner le temps de comptage. La partie supérieure, représentée sur la Figure 3, est constituée d'un cylindre en plexiglas où se trouvent le récepteur et l'électronique associée ; à son extrémité, un logement contient les accessoires de la manipulation :

- la source de ^{137}Cs , d'une activité de $4,5 \cdot 10^5$ Bq qui est constituée d'un disque en plexiglas au centre duquel se trouve la matière radioactive (voir figure 2) ;
- 4 écrans en plomb, de 5 mm d'épaisseur ;
- 6 écrans en aluminium d'épaisseurs diverses : 0,1 mm ; 0,2 mm ; 0,5 mm ; 1,0 mm et 2,0 mm.

Rappels consignes :

- Lorsque le matériel est rangé, le disque source est placé entre les écrans en aluminium puis les écrans en plomb. Veillez à respecter cette consigne après la manipulation.
- Saisir le disque source par les bords.

IV-2-2 MANIPULATION

a) Mesure du bruit de fond

Le bruit de fond est dû à la présence permanente de rayonnement au voisinage de la surface terrestre. On y distingue le rayonnement cosmique, d'origine interstellaire (constitué essentiellement de protons, neutrons et noyaux) et le rayonnement tellurique (essentiellement des rayons γ) provenant de la radioactivité naturelle des roches terrestres.

La mesure d'activité est donc toujours perturbée par cet effet parasite qu'il est nécessaire d'évaluer préalablement en procédant de la façon suivante :

- éloigner la source du récepteur ; mesurer le bruit de fond pendant 50 s, 3 fois et faire la moyenne ;

- en déduire l'activité mesurée correspondante ; celle-ci constitue la correction à déduire sur toute mesure d'activité effectuée sur la source.

b) Absorption des rayons γ par le plomb

- Placer la source (face « γ » dirigée vers le détecteur) dans la première encoche « source ».
- Placer un écran en aluminium de 2 mm d'épaisseur juste contre le détecteur.
- Mesurer le nombre n_{d50} de désintégrations pendant 50 s.
- Calculer $n'_{d50} = n_{d50} - f_{50}$.
- Recommencer la mesure en plaçant 1, 2 puis 3 écrans en plomb dans l'encoche « écrans ».
- Evaluer l'incertitude $\Delta n'_{d50}$ associée à chaque mesure (cf. partie A).
- Tracer sur papier semi-log le graphe $n'_{d50} = f(x)$ où x est l'épaisseur de plomb.
- Déterminer la demi-épaisseur $x_{1/2}$ du plomb.

c) Absorption du rayonnement (β et γ) par l'aluminium

- Placer la source dans la première encoche « source ».
- Mesurer pendant 50 s le nombre n_{d50} de désintégrations.
- Calculer n'_{d50} .
- Recommencer la mesure en combinant plusieurs écrans de façon à obtenir les épaisseurs x successives (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5 et 2 mm)
- Evaluer l'incertitude $\Delta n'_{d50}$ associée à chaque mesure.
- Tracer le graphe $n'_{d50} = f(x)$ sur papier semi-log.
- Comment interprétez-vous le graphe obtenu ?

PARTIE B

V. PRINCIPES GENERAUX DE RADIOPROTECTION

Dans cette partie seront présentés :

- les principes de protection contre l'exposition externe ainsi que des équipements divers utiles pour un travail correct dans un laboratoire de « radioactivité » ;
- l'aspect probabiliste de la désintégration radioactive ;
- un exemple de protocole expérimental mettant en œuvre des radioéléments sous forme de sources non scellées ; le débit de dose et les doses équivalente et efficace seront calculés pour chaque étape du protocole.

Rappels du cours de radioprotection :

- Dose absorbée (D) : Quantité d'énergie absorbée par unité de masse de la matière traversée par un rayonnement (en Gy).

- Dose équivalente (H) : Grandeur qui tient compte de la nocivité des rayonnements sur les tissus vivants exposés (irradiés) (en Sv):

$$H = W_R \times D \quad \text{avec } W_R: \text{ facteur de pondération, tient compte de la nature du rayonnement}$$

- Dose efficace (E) : Somme des doses équivalentes pour chaque organe ou tissu de l'organisme pondérées par un facteur dépendant de la radiosensibilité propre du tissu irradié (en Sv) :

$$E = \sum W_T \times H \quad \text{avec } W_T: \text{ facteur de pondération pour le tissu ou l'organe T.}$$

- Débit de dose (Ḋ) : Energie reçue par la matière exposée par unité de masse et par unité de temps (en Gy.h⁻¹) : $\dot{D} = D/t$

- Débit de dose équivalente (Ḣ) : Correspond à la variation de dose équivalente par unité de temps (en Sv.h⁻¹) : $\dot{H} = W_R \times \dot{D}$

- La portée des particules β : profondeur maximale de pénétration d'une particule chargée dans la matière traversée :

$$P \text{ (cm)} = [0,412 \cdot E^n \text{ (MeV)}] / \rho \text{ (g/cm}^3\text{)} ; \text{ avec } n = 1,265 - 0,0954 \ln E$$

- Débit de dose sans écran pour les photons γ :

$$\dot{D}_{(mGy/h)} = \frac{1,38 \cdot 10^{-10} \cdot A_{(Bq)}}{d^2_{(m)}} \sum E_{(MeV)} \cdot I$$

- Débit de dose avec écran pour les photons γ :

$\dot{D} = \dot{D}_0 \cdot e^{-\mu x}$; avec μ : coefficient d'atténuation linéique du matériau (en cm⁻¹) et x l'épaisseur du matériau traversé (en cm).

- Débit de dose pour les rayons β : $\dot{D}_{(mGy/h)} = 9 \cdot 10^{-7} \cdot A_{(Bq)} \cdot I$

Dans cette partie, le danger de la manipulation de la source scellée de Césium 137 lors de cette séance de TP sera déterminé par un simple calcul de la dose efficace reçue durant la partie A de la séance. Cette dose calculée sera comparée à la dose limite pour le public.

Protocole expérimental mettant en œuvre les radioéléments sous forme de sources non scellées

1) **Première étape** : à l'aide d'une seringue, on prélève 1,85 MBq dans le pot de source mère contenant 9,25 MBq du radioélément. Durée de l'étape : 3 minutes.

Mise en incubation dans un bloc chauffant pendant 15 minutes.

2) **Deuxième étape** : purification de l'échantillon radioactif (sonde ADN radiomarquée) sur une colonne de Sephadex.

L'échantillon contenant 100% de l'activité prélevée (soit 1,85 MBq) est déposé sur la colonne en utilisant une pipette automatique. Durée de l'étape : 1 minute.

Temps d'élution de l'échantillon : 60 minutes.

L'éluât est récupéré dans un microtube. Le volume d'élution de l'échantillon purifié est de 400 μ L et contient 65 à 70% de la radioactivité initiale (soit 1,3 MBq maximum). La colonne de Sephadex contient alors 30 à 35% de l'activité initiale (soit 0,55 MBq maximum) et est évacuée par la filière de déchets radioactifs solides.

3) **Troisième étape** : Hybridation de la sonde radiomarquée avec des membranes.

Les 400 μ L de sondes radiomarquées contenant 1,3 MBq sont prélevés à l'aide d'une pipette automatique puis déposés dans une ampoule (de verre de 1 mm d'épaisseur) contenant les membranes à hybrider.

Durée de l'étape : 2 minutes.

4) **Quatrième étape** : Incubation de la sonde radiomarquée avec les membranes.

L'ampoule contenant le produit radiomarqué est transféré de la paillasse au four à hybridation placé sur l'étagère. Durée de l'étape : 30 secondes.

L'incubation dure 6 heures.

5) **Cinquième étape** : Fin d'incubation.

L'ampoule contenant le produit radiomarqué est transférée du four sur la paillasse. Durée de l'étape : 30 secondes.

6) **Sixième étape** : Réalisation de 4 lavages des membranes.

Les membranes sont sorties de l'ampoule à l'aide d'une pince et placées dans un plat en pyrex pour minimiser l'activité par 4 lavages effectués sur la paillasse. Les mains du manipulateur tiennent pendant 5 minutes l'ampoule contenant 1,3 MBq lors de ce transfert. Le manipulateur change de gants après avoir essuyé le col de l'ampoule afin d'éviter tout risque de contamination.

On estime que 10% de l'activité (soit 130 kBq) sont transférés avec les membranes dans le plat en pyrex. Pour chaque lavage, on suppose donc que l'activité manipulée est de 130 kBq. Chaque lavage dure 5 minutes (temps de manipulation).

Au final, 2000 mL de déchets radioactifs liquides sont émis. Ils contiennent 1,3 MBq (soit 70% des 1,85 MBq initialement mis en œuvre). L'activité restant fixée sur la membrane est maximum de 92 kBq, soit 5% des 1,85 MBq initialement mis en œuvre.

Après exposition d'un film de 1 heure à 4 jours, la membrane radioactive est éliminée par la filière déchets radioactifs solides.

Rappels cours

Personnes exposées aux RI	Travailleurs (décret n°2003-296 du 31 mars 2003)	PUBLIC (décret n°2002-460 du 4 avril 2002)
Temps d'exposition	Période de douze mois consécutifs	Période de douze mois consécutifs
Doses efficaces Externe + Interne	20 mSv	1 mSv
Dose équivalente à la peau	500 mSv	50 mSv
Dose équivalente pour le cristallin	20 mSv*	15 mSv
Dose équivalente pour les extrémités	500 mSv	50 mSv

*Décret n° 2018-437 du 4 juin 2018

Classement des travailleurs

Les doses limites annuelles (Décret n° 2018-437 du 4 juin 2018)

Personnes exposées aux RI	Travailleurs Catégorie A	Travailleurs Catégorie B
Doses efficaces Externe + Interne	20 mSv	6 mSv
Dose équivalente à la peau	500 mSv	150 mSv
Dose équivalente pour le cristallin	20 mSv	Sup. à 15 mSv
Dose équivalente pour les extrémités	500 mSv	150 mSv
Femmes enceintes	1 mSv	

Nom :
Nom du binôme :

Groupe T.P. :

date :
N° compteur

RADIOACTIVITE

Partie A : Aspect physique du rayonnement radioactif.

1/ Mesure du **bruit de fond** (moyenne de 3 mesures) : $f_{50} =$

En déduire l'**activité** correspondante : $A_{50} =$

2/ **Absorption du rayonnement γ par le plomb.**

Nombre d'écrans	Épaisseur x (mm)	n_{d50}	n'_{d50}	$\Delta n'_{d50}$	$n'_{d50} + \Delta n'_{d50}$	$n'_{d50} - \Delta n'_{d50}$

Tracer sur une feuille de papier semi-logarithmique le graphe $n'_{d50} = f(x)$.

Détermination graphique de la demi-épaisseur du plomb : $x_{1/2} (Pb/\gamma) =$

3/ **Absorption des rayonnements β et γ par l'aluminium.**

Remarque préliminaire : les lignes (a), (b) et (c) correspondent aux mesures ; les lignes (d) et (e) sont déterminées à partir de l'analyse de la courbe obtenue avec la ligne (b).

	x (mm)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0
(a)	n_{d50}	13866	6295	4082	2450	1720	1371	1181	1048	1021	993	928
(b)	n'_{d50}											
(c)	$\Delta n'_{d50}$											
(d)	$n'_d (Al/\gamma)$											
(e)	$n'_d (Al/\beta)$											

Tracer en représentation semi-log sur le même document la courbe n'_{d50} puis les courbes $n'_d(Al/\gamma)$ et $n'_d(Al/\beta)$ en fonction de l'épaisseur x.

Détermination graphique de la demi-épaisseur de l'aluminium pour le rayonnement β :

$x_{1/2} (Al/\beta) =$

