



# Technique

|  |                |
|--|----------------|
| <b>Lexique</b> .....                         | p. 9.1         |
| <b>Sécurité</b> .....                        | p. 9.2         |
| <b>Définitions</b> .....                     | p. 9.3         |
| <b>Technique</b> .....                       | p. 9.4         |
| <b>Normes et règlements</b> .....            | p. 9.5         |
| <b>Radionucléides</b> .....                  | p. 9.6         |
| <b>Radionucléides caractéristiques</b> ..... | p. 9.7 - 9.8   |
| <b>Tableau de Mendeleïev</b> .....           | p. 9.9         |
| <b>Index Radionucléides</b> .....            | p. 9.10 - 9.11 |

# Lexique



## Sigles & abréviations

|                   |  |               |  |
|-------------------|--|---------------|--|
| <b>ADR :</b>      | Arrêté relatif au transport des marchandises dangereuses par route (dit : arrêté ADR). | <b>LNHB :</b> | Laboratoire National Henri Becquerel. Laboratoire qui est, depuis 1999, le LNM (Laboratoire National de Métrologie) dans le domaine des rayonnements ionisants, l'un des cinq laboratoires du BNM (Bureau National de Métrologie). Il est chargé de la définition, de l'amélioration et du transfert des références métrologiques nationales dans le domaine des rayonnements ionisants. |
| <b>AFNOR :</b>    | Association Française de Normalisation.  | <b>LNE :</b>  | Laboratoire National d'Essais.   |
| <b>AFSSAPS :</b>  | Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé.                          | <b>LNM :</b>  | Laboratoire National de Métrologie.  |
| <b>AIEA :</b>     | Agence Internationale de l'Énergie Atomique, organisme dépendant de l'O.N.U.           | <b>NIST :</b> | National Institute of Standards and Technology.  |
| <b>ANDRA :</b>    | Agence Nationale pour la gestion des Déchets RadioActifs.                              | <b>NPL :</b>  | National Physical Laboratory.  |
| <b>ASN :</b>      | Autorité de la Sûreté Nucléaire  | <b>OACI :</b> | Organisation de l'Aviation Civile Internationale.  |
| <b>BIPM :</b>     | Bureau International des Poids et Mesures.   | <b>OMI :</b>  | Organisation Maritime Internationale.  |
| <b>BPRI :</b>     | Bureau de Protection contre les Rayonnements Ionisants.                                | <b>PTB :</b>  | Physikalische Technische Bundesanstalt.  |
| <b>CEA :</b>      | Commissariat à l'Énergie Atomique.   | <b>REA :</b>  | RadioÉlément Artificiel.   |
| <b>CERCA :</b>    | Compagnie pour l'Étude et la Réalisation de Combustibles Atomiques.                    | <b>RID :</b>  | Accord Européen de Transport International par fer.  |
| <b>CERCALEA :</b> | Laboratoire Étalons d'Activité.  | <b>SAR :</b>  | Service d'Applications des Radioéléments.  |
| <b>CEREM :</b>    | Centre d'Études et de Recherches sur les Matériaux.                                    | <b>SI :</b>   | Système International.   |
| <b>CETAMA :</b>   | Commission d'ÉTABLISSEMENT des Méthodes d'Analyse (CEA).                               | <b>SMH :</b>  | Service de Métrologie Habilité.  |
| <b>COFRAC :</b>   | COMITÉ FRANÇAIS d'Accréditation.   | <b>TEP :</b>  | Tomographie par Émission de Positons.  |
| <b>CPA :</b>      | Conditions Particulières d'Autorisation, élaborées par l'IRSN.                         | <b>TIG :</b>  | Tungstene Inert Gas (procédé de soudage).  |
| <b>DETECS :</b>   | Département des Technologies du Capteur et du Signal.                                  | <b>TPN :</b>  | Température Pression Normale.  |
| <b>DRIRE :</b>    | Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement.              | <b>VIM :</b>  | Vocabulaire International de Métrologie.   |
| <b>IATA :</b>     | International Air Transport Association.   |               |  |
| <b>ICPE :</b>     | Installation Classée pour la Protection de l'Environnement.                            |               |  |
| <b>ICRU :</b>     | International Commission on Radiation Units and measurements.                          |               |  |
| <b>IMDG :</b>     | Code du transport maritime, loi du 05/07/83 (Code de sécurité des navires).            |               |  |
| <b>IRSN :</b>     | Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire.                                    |               |  |
| <b>ISO :</b>      | International Organization for Standardization.  |               |  |
| <b>LEA :</b>      | Laboratoire Étalons d'Activité.  |               |  |
| <b>LETI :</b>     | Laboratoire d'Électronique, de Technologie et d'Instrumentation.                       |               |  |

# Sécurité

## ➤ Règles de radioprotection et conseils généraux d'utilisation

Tout travail en milieu ionisant impose le port d'une tenue vestimentaire spécifique destinée à protéger les travailleurs contre les risques d'une contamination corporelle. Il est donc vivement conseillé de porter une blouse et de mettre des gants de protection.



Les étalons doivent être manipulés avec beaucoup de précaution. Quand ils ne sont plus utilisés, ils doivent être stockés dans leur **emballage d'origine** ou dans un emballage adapté pour la radioprotection.

L'objectif est d'éviter toute exposition externe et interne, qui résulte de l'incorporation de radio-nucléides par inhalation, ingestion ou blessure.

## ➤ Que faire en cas d'incident ?

Toute manipulation ou utilisation de sources radio-actives doit toujours s'effectuer sous la surveillance d'une Personne Compétente en Radioprotection, PCR, (décret n° 2003-296 du 31 mars 2003).

En cas d'incident, il est indispensable de contacter la PCR de l'établissement. Celle-ci prendra toutes les dispositions nécessaires pour assurer la prévention (alerter) et prendre les mesures quant à la contamination.

## ➤ Conseils d'utilisation spécifiques

### Pour les solutions

Dans les conditions normales de température et de pression d'un laboratoire, les **solutions** restent **stables dans leurs ampoules d'origine** pour une durée minimale de 2 ans. Les solutions sont prévues pour être transvasées de leurs ampoules à un autre récipient.

Les solutions peuvent être diluées. Mais le diluant utilisé doit comporter la même composition chimique et la même concentration de matière non radioactive que la solution étalon.

Si la composition chimique est destinée à la préparation d'une source, il faut s'assurer que les composants volatiles ne se perdent pas au cours des différentes manipulations.

### Pour la médecine nucléaire

La durée d'utilisation recommandée d'une source est généralement limitée à deux ans.

En supplément, il faudra la recalibrer à intervalles réguliers.

### Pour les sources scellées

Les sources doivent être manipulées avec des gants et avec des pinces (toutes les sources en coffret sont fournies avec une pince dans leur boîte de rangement) pour éviter de laisser une pellicule de gras sur leur surface et risquer de les endommager.

Pour les sources spéciales à forte activité, des règles de radioprotection doivent être appliquées dans le respect de la réglementation sur la protection des personnes.

Les **sources  $\gamma$**  peuvent être nettoyées à l'aide d'un linge humidifié avec de l'alcool car elles possèdent un film plastique. En effet, l'abrasion de la surface supérieure modifiera son niveau d'activité avec risque de fuite.

Au contraire, les **sources  $\alpha$  et  $\beta$**  ne doivent pas être nettoyées (elles ne possèdent pas de feuille de plastique).

Les détergents ou les solutions abrasives ne doivent en aucun cas être utilisés.

Pour éviter l'évaporation du **carbone 14** causée par le contact avec l'atmosphère, ces sources doivent être gardées dans leur boîte de rangement, et laissées dans un endroit sec et à l'abri de la lumière.

## ➤ Disparition d'une source

En France, en cas de perte, vol, disparition d'une source radioactive ainsi que les faits susceptibles d'engendrer une dissémination radioactive, le chef d'établissement, le titulaire de l'autorisation ou la Personne Compétente en Radioprotection devra avertir immédiatement :

(article R133-51 du code de la Santé Publique )

- le Préfet et la DRIRE du Département du lieu de survenance de la perte ou du vol,
- l'ASN / SD 1  
10 Route du Panorama  
BP 83 - 92266 FONTENAY-AUX-ROSES
- l'IRSN  
BP 35 - 78116 LE VESINET CEDEX

En cas d'incident radiologique,  
numéro vert d'urgence :

0800 804 135

# Définitions

## Étalon pour la radioactivité

L'unité de radioactivité adoptée par le SI est le becquerel (Bq). Cette unité correspond à la transformation d'un noyau avec émission d'un rayonnement ionisant. C'est ce qu'on appelle une désintégration.

Ainsi, l'activité d'un corps radioactif se quantifie par le nombre de désintégrations de ses atomes en une seconde. Elle se mesure en becquerels.

Un becquerel (Bq) correspond à une désintégration par seconde. C'est une très petite unité de mesure.

1 Bq = nombre de désintégrations d'un noyau par seconde.

### Échelle de grandeur

| Becquerels          |                              |
|---------------------|------------------------------|
| $37 \times 10^9$    | 1 g de radium 226            |
| 7 à $8 \times 10^9$ | 1 tonne de granit            |
| $37 \times 10^6$    | 1 scintigraphie thyroïdienne |
| 100 000             | 50 g d'engrais phosphaté     |
| 10 000              | 1 homme de 70 kg             |
| 150                 | 1 kg de pommes de terre      |
| 10                  | 1 litre d'eau minérale       |
| 0,3 à 1             | 1 litre d'eau de pluie       |

L'autre unité, toujours utilisée, est le curie (Ci) qui correspond au nombre de noyaux qui se désintègrent dans un gramme de radium par seconde (ancien système).

1 Ci =  $3,7 \times 10^{10}$  Bq, soit 37 milliards de désintégrations/seconde

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| 1 Bq  | ≈ 27 pCi | 1 Ci  | ≈ 37 GBq |
| 1 kBq | ≈ 27 nCi | 1 mCi | ≈ 37 MBq |
| 1 MBq | ≈ 27 μCi | 1 μCi | ≈ 37 kBq |
| 1 GBq | ≈ 27 mCi | 1 nCi | ≈ 37 Bq  |
| 1 TBq | ≈ 27 Ci  | 1 pCi | ≈ 37 mBq |

### Tableau de conversion Becquerel/Curie

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| T = téra ( $10^{12}$ ) | m = milli ( $10^{-3}$ ) |
| G = giga ( $10^9$ )    | μ = micro ( $10^{-6}$ ) |
| M = méga ( $10^6$ )    | n = nano ( $10^{-9}$ )  |
| k = kilo ( $10^3$ )    | p = pico ( $10^{-12}$ ) |

## Étalon

La mesure d'une grandeur se détermine par comparaison à un **étalon de référence** qui est désigné ou largement reconnu comme présentant les plus hautes qualités métrologiques, et dont la valeur est établie sans se référer à d'autres étalons de la même grandeur.

Toute mesure pour la fabrication ou le contrôle des produits LEA est évaluée par comparaison avec cet étalon. Enfin les étalons que fabrique le LEA sont destinés à l'étalonnage des appareils de ses clients.

L'ensemble des unités de mesure forme le Système International (SI) qui est reconnu et adopté universellement comme système de référence et de communication scientifique.

## Pureté radioactive

Les étalons présentés dans ce catalogue sont élaborés à partir de produits de base contenant le minimum d'impuretés radioactives et leur fabrication fait l'objet de précautions particulières.

Les impuretés présentes dans les produits finis sont identifiées et dosées par spectrométrie α ou γ systématiquement et, dans certains cas, par spectrométrie de masse.

Les **teneurs en impuretés** sont données **dans le certificat d'étalonnage**, exprimées en pourcentage de l'activité du radionucléide principal, à la date de référence. Lorsque aucune impureté n'a été décelée, une limite de détection est également indiquée.

## Incertitudes

L'incertitude représente l'estimation d'une variation possible entre le niveau de l'activité certifiée par le LEA et l'activité réelle. Elle est généralement inférieure à  $\pm 5\%$ . ( $k=2$ ).

Selon la norme NFX 07-001 l'incertitude d'une mesure est définie comme l'écart entre le résultat d'un mesurage et la valeur vraie du mesurande (grandeur mesurée ou à mesurer).

Deux types d'incertitudes apparaissent en fonction du mode d'évaluation. Lors du calcul de l'incertitude de mesure, il est indispensable d'identifier la totalité des paramètres  $X_i$  qui ont une incidence sur le résultat du mesurage et de quantifier leur incertitude type.

Pour évaluer la valeur numérique des incertitudes types associées à chacune des composantes de l'incertitude, deux méthodes peuvent être employées :

- **type A** : les incertitudes sont estimées en appliquant des méthodes statistiques à des séries de mesures répétées. Cette méthode est principalement utilisée pour quantifier les incertitudes de répétabilité de mesurage.
- **type B** : la méthode recouvre tout ce qui n'est pas statistique (spécification, constructeur, certificats d'étalonnage, facteur d'influence...).

Les conditions normales de mesure sont :

- température : 20° C
- pression atmosphérique : 101 325 Pa (1013,25 mbar)
- hygrométrie : 55 %

# Technique

Enfin l'incertitude élargie U est obtenue en multipliant l'écart type composé par un facteur d'élargissement k. La **valeur du facteur d'élargissement** est liée à la probabilité souhaitée (niveau de confiance) :

- 68 % pour k = 1
- 95 % pour k = 2
- 99 % pour k = 3.

Ces pourcentages correspondent à l'application de la Loi Normale du fait de la multiplicité des facteurs d'incertitude.

La valeur de k utilisée par le LEA est égale à 2 (k = 2). Finalement l'incertitude est définie de la façon suivante :  $I = U(y) = k \cdot \sqrt{u_c(y)}$ .



## Tolérances

Les solutions étalons sont caractérisées en activité massique, exprimée en  $\text{kBq.g}^{-1}$ , à l'exception des solutions étalons multigamma qui sont caractérisées en flux d'émission.

L'**activité** indiquée est celle **du radionucléide principal**, à l'exclusion des descendants dans les cas de filiation et des impuretés identifiées. Les activités massiques nominales disponibles sont définies pour chaque radionucléide.

D'autres radionucléides et des niveaux d'activité peuvent être délivrés sur demande.

D'une manière générale, et sauf demande spécifique, l'activité livrée peut varier par rapport à l'activité nominale indiquée dans le catalogue. Le niveau d'activité et l'incertitude de mesure sont notés dans le certificat d'étalonnage fourni avec la source. Cette variation peut être plus grande pour les radionucléides à vie courte.

| Type de produit  | Variation par rapport à l'activité nominale catalogue |
|--|---|
| Solutions nominales  | $\pm 30 \%$   |
| Étalons, sources scellées, ou solution étalonnée.  | $\pm 30 \%$   |
| Produits médicaux : flood sources, stylos marqueurs, sources gamma de référence pour activimètres. | - 15 %<br>+ 30 %                                      |



## Grandeurs et unités

Les définitions qui suivent sont extraites de la norme NF ISO 31-10 :

### • Activité

L'activité A, d'une quantité d'un radionucléide dans un état d'énergie défini, à un instant donné, est le quotient  $dN$  par  $dt$ , où  $dN$  est l'espérance mathématique du nombre de transitions nucléaires spontanées à partir de cet état d'énergie dans l'intervalle de temps  $dt$ .

$A = dN/dt$  • Unité : Bq (Becquerel).  $1\text{Bq} = 1\text{s}^{-1}$ .

### • Constante radioactive

La constante radioactive (ou de décroissance),  $\lambda$ ,

d'un radionucléide dans un état d'énergie défini est le quotient de  $dP$  par  $dt$ , où  $dP$  est la probabilité qu'un noyau donné de subir une transition nucléaire spontanée à partir de cet état d'énergie, dans l'intervalle de temps  $dt$ .

$\lambda = dP/dt$   
Unité :  $\text{s}^{-1}$ .

### • Période radioactive

La période radioactive,  $T_{1/2}$ , d'un radionucléide est l'intervalle de temps nécessaire pour que l'activité d'une quantité de ce radionucléide soit réduite de la moitié de sa valeur initiale. Elle est reliée à la constante radioactive  $\lambda$ , par la relation :

$T_{1/2} = (\ln 2)/\lambda$   
Unité : s.

### • Activité massique

L'activité massique,  $A_m$  d'un radionucléide présent dans une masse  $m$  de matière est le quotient de l'activité A du radionucléide par  $m$ .

$A_m = A/m$   
Unité :  $\text{Bq.g}^{-1}$ .

### • Activité volumique

L'activité volumique,  $A_v$ , d'un radionucléide présent dans un volume V de matière, est le quotient de l'activité A du radionucléide par V.

$A_v = A/V$   
Unité :  $\text{Bq.cm}^{-3}$ .

Remarque : cette grandeur est principalement utilisée pour caractériser les étalons gazeux ; elle est alors considérée dans les **conditions de référence TPN** ( $T = 273,16\text{K}$  et  $P = 101,325\text{kPa}$ ).

### • Flux de particules

Le flux de particules,  $\Phi$ , est le quotient de  $dN$  par  $dt$ , où  $dN$  est l'accroissement du nombre de particules émises, dans l'intervalle de temps  $dt$  :

$\Phi = dN/dt$   
Unité :  $\text{s}^{-1}$ .

Remarque : cette grandeur est identique à celle dénommée « taux d'émission ».

Les particules considérées doivent être spécifiées.

L'angle solide dans lequel l'émission est considérée doit également être donné.

Exemple : Flux de particules  $\beta$  dans  $2\pi$  sr :  
 $\Phi = 3,5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ .

### • Flux massique de particules

Unité :  $\text{s}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ ,  $\text{s}^{-1}.\text{g}^{-1}$ .

Remarques :

- Cette grandeur est identique à celle dénommée « taux d'émission massique ».
- Les particules considérées doivent être spécifiées.
- L'angle solide dans lequel l'émission est considérée est égal à  $4\pi$  sr :  
 $\Phi_m = 2,5 \times 10^4 \text{ s}^{-1}.\text{g}^{-1}$ .

# Normes et règlements



La qualité est réalisée grâce aux respects des normes et règlements internationaux et nationaux récapitulés dans le tableau ci-après :

| <b>Réglementation</b>   | <b>Objet</b>   | <b>Niveau</b> |
|---|--|---------------|
| Code de la Santé publique<br>Décret 2003 - 462 du 21 mai 2003                 | Lois, décrets et textes réglementaires   | National      |
| Décret n° 2002-460 du 04/04/2002  | Relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants | National      |
| ISO 17025   | Prescriptions concernant les compétences des laboratoires d'étalonnage et d'essais           | International |
| COFRAC<br>COmité FRançais d'ACcréditation                                     | Étalonnage en rayonnement ionisant   | National      |
| ISO 9001  | Conception, fabrication & mesure   | International |
| 93/42/CEE   | Homologation CE pour dispositifs médicaux  | International |
| EN 13485  | Complément ISO 9001 pour dispositifs médicaux  | International |
| NF M61-002  | Définition des sources scellées  | National      |
| ISO 2919  | Définition des sources scellées  | International |
| ISO 8769  | Calibrage  | International |
| NF ISO 9978 (indice de classement M61-003)                                    | Étanchéité des sources scellées  | International |
| ISO 1677  | Généralités certificat sources scellées  | International |
| ADR restructuré   | Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route    | Européen      |
| AIEA - prescriptions n° ST - 1<br>Agence Internationale de l'Énergie Atomique | Règlement de transport des matières radioactives   | International |
| OACI<br>Règlement international de transport par air                          | Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses    | International |

# Radionucléides

| Radionucléide et Période  | Composition chimique  | Énergie des rayonnements (MeV) |                         |   | Xk             |
|---|---|--------------------------------|-------------------------|---|----------------|
|   |   | $\alpha$                       | $\beta_{\max}$          | $\gamma$  |                |
| <b><math>^{110}\text{Ag}^m + ^{110}\text{Ag}</math></b><br><i>2,50 x 10<sup>2</sup> jours</i> | NH <sub>4</sub> OH 0,1 N                                    |                                | 2,235<br>2,892          | 0,658<br>0,706<br>0,764<br>0,885<br>0,937<br>1,384<br>1,505 |                |
| <b><math>^{241}\text{Am}</math></b><br><i>4,33 x 10<sup>2</sup> ans</i>                       | HNO <sub>3</sub> 1 N  | 5,388<br>5,443<br>5,486        |                         | 0,060   |                |
| <b><math>^{133}\text{Ba}</math></b><br><i>1,05 x 10<sup>1</sup> ans</i>                       | HCl 1 N   |                                |                         | 0,081<br>0,161<br>0,223<br>0,276<br>0,302<br>0,356<br>0,384 | 0,031<br>0,035 |
| <b><math>^{207}\text{Bi}</math></b><br><i>3,28 x 10<sup>1</sup> ans</i>                       | HCl 1 N   |                                |                         | 0,570<br>1,063<br>1,770                                     | 0,075          |
| <b><math>^{14}\text{C}</math></b><br><i>5,73 x 10<sup>3</sup> ans</i>                         | triazol ou<br>glucose + formaldéhyde<br>en H <sub>2</sub> O |                                | 0,156                   |   |                |
| <b><math>^{45}\text{Ca}</math></b><br><i>1,63 x 10<sup>2</sup> jours</i>                      | HCl 0,1 N   |                                | 0,257                   |   |                |
| <b><math>^{109}\text{Cd} + ^{109}\text{Ag}^m</math></b><br><i>4,63 x 10<sup>2</sup> jours</i> | HCl 1 N   |                                |                         | 0,088   | 0,022<br>0,026 |
| <b><math>^{139}\text{Ce}</math></b><br><i>1,38 x 10<sup>2</sup> jours</i>                     | HCl 0,1 N   |                                |                         | 0,166   | 0,033          |
| <b><math>^{141}\text{Ce}</math></b><br><i>3,25 x 10<sup>1</sup> jours</i>                     | HCl 0,1 N   |                                | 0,435<br>0,580          | 0,145   | 0,036          |
| <b><math>^{252}\text{Cf}</math></b><br><i>9,67 x 10<sup>2</sup> jours</i>                     | Cf <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Pd                         | 6,075<br>6,118                 |                         | 0,043<br>0,100  |                |
| <b><math>^{36}\text{Cl}</math></b><br><i>3,01 x 10<sup>5</sup> ans</i>                        | NaCl en H <sub>2</sub> O                                    |                                | 0,709                   |   |                |
| <b><math>^{244}\text{Cm}</math></b><br><i>1,81 x 10<sup>1</sup> ans</i>                       | HNO <sub>3</sub> 1 N  | 5,763<br>5,805                 |                         |   |                |
| <b><math>^{57}\text{Co}</math></b><br><i>2,72 x 10<sup>2</sup> jours</i>                      | HCl 0,1 N   |                                |                         | 0,014<br>0,122<br>0,136                                     | 0,006          |
| <b><math>^{58}\text{Co}</math></b><br><i>7,08 x 10<sup>1</sup> jours</i>                      | HCl 0,1 N   |                                | 0,475                   | 0,811<br>0,864<br>1,675                                     | 0,006          |
| <b><math>^{60}\text{Co}</math></b><br><i>1,93 x 10<sup>3</sup> jours</i>                      | HCl 0,1 N   |                                | 0,318                   | 1,173<br>1,333  |                |
| <b><math>^{51}\text{Cr}</math></b><br><i>2,77 x 10<sup>1</sup> jours</i>                      | HCl 0,1 N   |                                |                         | 0,320   | 0,005          |
| <b><math>^{134}\text{Cs}</math></b><br><i>7,55 x 10<sup>2</sup> jours</i>                     | HCl 0,1 N   |                                | 0,089<br>0,415<br>0,658 | 0,563<br>0,569<br>0,604<br>0,796<br>0,802<br>1,168<br>1,365 | 0,032          |
| <b><math>^{137}\text{Cs} + ^{137}\text{Ba}^m</math></b><br><i>3,02 x 10<sup>1</sup> ans</i>   | HCl 0,1 N   |                                | 0,511<br>1,173          | 0,662   | 0,032          |

# Radionucléides caractéristiques

| Radionucléide et Période   | Composition chimique  | $\alpha$                | Énergie des rayonnements (MeV)            |   | Xk             |
|--|---|-------------------------|---|---|----------------|
|  |   |                         | $\beta_{max}$                             | $\gamma$  |                |
| <b><sup>152</sup>Eu</b><br>1,35 x 10 <sup>1</sup> ans                                  | HCl 1N  |                         | 0,387<br>0,698<br>1,475                   | 0,122<br>0,245<br>0,296<br>0,344<br>0,411<br>0,444<br>0,689<br>0,779<br>0,867<br>0,964<br>1,086<br>1,112<br>1,213<br>1,299<br>1,408 |                |
| <b><sup>55</sup>Fe</b><br>9,79 x 10 <sup>2</sup> jours                                 | HCl 0,1 N   |                         |   |   | 0,006<br>0,007 |
| <b><sup>59</sup>Fe</b><br>4,45 x 10 <sup>1</sup> jours                                 | HCl 0,1 N   |                         | 0,273<br>0,466                            | 0,192<br>0,335<br>1,099<br>1,291  |                |
| <b><sup>3</sup>H</b><br>1,23 x 10 <sup>1</sup> ans                                     | H <sub>2</sub> O tritiated  |                         | 0,018                                     |   |                |
| <b><sup>125</sup>I</b><br>5,99 x 10 <sup>1</sup> jours                                 | NaI + Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> en H <sub>2</sub> O |                         |   | 0,035   | 0,027          |
| <b><sup>129</sup>I</b><br>1,57 x 10 <sup>7</sup> ans                                   | NaI + Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> en H <sub>2</sub> O |                         | 0,151                                     | 0,039   | 0,030          |
| <b><sup>131</sup>I</b><br>8,02 jours   | NaI + Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> en H <sub>2</sub> O |                         | 0,334<br>0,606                            | 0,080<br>0,284<br>0,364<br>0,637<br>0,722   |                |
| <b><sup>85</sup>Kr</b><br>1,07 x 10 <sup>1</sup> ans                                   | gaseous state   |                         | 0,173<br>0,687                            | 0,514   |                |
| <b><sup>54</sup>Mn</b><br>3,12 x 10 <sup>2</sup> jours                                 | HCl 0,1 N   |                         |   | 0,835   | 0,005          |
| <b><sup>22</sup>Na</b><br>9,50 x 10 <sup>2</sup> jours                                 | HCl 0,1 N   |                         | 0,545                                     | 0,511<br>1,275  |                |
| <b><sup>63</sup>Ni</b><br>1,00 x 10 <sup>2</sup> ans                                   | HCl 0,1 N   |                         | 0,066                                     |   |                |
| <b><sup>237</sup>Np + <sup>233</sup>Pa</b><br>2,14 x 10 <sup>6</sup> ans               | HCl + C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 6 N                  | 4,766<br>4,771<br>4,788 | 0,156<br>0,174<br>0,232<br>0,260<br>0,572 | 0,030<br>0,087<br>0,143<br>0,195<br>0,312<br>0,340  | 0,098          |
| <b><sup>32</sup>P</b><br>1,43 x 10 <sup>1</sup> jours                                  | HCl 0,1 N   |                         | 1,710                                     |   |                |
| <b><sup>210</sup>Pb</b><br>2,22 x 10 <sup>1</sup> ans                                  | HNO <sub>3</sub> 3 N  |                         |   | 0,047   |                |
| <b><sup>147</sup>Pm</b><br>9,58 x 10 <sup>2</sup> jours                                | HCl 0,1 N   |                         | 0,225                                     |   |                |
| <b><sup>238</sup>Pu</b><br>8,77 x 10 <sup>1</sup> ans                                  | HNO <sub>3</sub> 1 N  | 5,456<br>5,499          |   |   |                |
| <b><sup>239</sup>Pu</b><br>2,41 x 10 <sup>4</sup> ans                                  | HNO <sub>3</sub> 1 N  | 5,105<br>5,143<br>5,156 |   |   |                |
| <b><sup>103</sup>Ru + <sup>103</sup>Rh<sup>m</sup></b><br>3,93 x 10 <sup>1</sup> jours | HCl 0,1 N   |                         | 0,113<br>0,226                            | 0,040<br>0,497<br>0,610   |                |

# Radionucléides caractéristiques

| Radionucléide et Période   | Composition chimique                                | Énergie des rayonnements (MeV) |                |   |                                  |
|--|---|--------------------------------|----------------|---|----------------------------------|
|  |   | $\alpha$                       | $\beta_{\max}$ | $\gamma$  | Xk                               |
| <b><sup>35</sup>S</b><br>8,74 x 10 <sup>1</sup> jours                        | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> en H <sub>2</sub> O |                                | 0,167          |   |                                  |
| <b><sup>75</sup>Se</b><br>1,20 x 10 <sup>2</sup> jours                       | Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub> en NaOH 0,5 N      |                                |                | 0,121<br>0,136<br>0,265<br>0,280<br>0,401                   | 0,010                            |
| <b><sup>113</sup>Sn + <sup>113m</sup>In</b><br>1,15 x 10 <sup>2</sup> jours  | HCl 6 N   |                                |                | 0,255<br>0,392  | 0,024                            |
| <b><sup>85</sup>Sr</b><br>6,49 x 10 <sup>1</sup> jours                       | HCl 0,1 N   |                                |                | 0,514   | 0,013<br>0,015                   |
| <b><sup>89</sup>Sr</b><br>5,06 x 10 <sup>1</sup> jours                       | HNO <sub>3</sub> 1 N                                |                                | 1,492          |   |                                  |
| <b><sup>90</sup>Sr + <sup>90</sup>Y</b><br>2,82 x 10 <sup>1</sup> ans        | HCl 0,1 N   |                                | 0,546<br>2,284 |   |                                  |
| <b><sup>99</sup>Tc</b><br>2,14 x 10 <sup>5</sup> ans                         | NH <sub>4</sub> OH 0,1 N                            |                                | 0,294          |   |                                  |
| <b><sup>228</sup>Th + descendants (1)</b><br>6,99 x 10 <sup>2</sup> jours    | HNO <sub>3</sub> 1 N                                | 5,340<br>5,423                 |                | 0,084<br>0,132<br>0,216                                     |                                  |
| <b><sup>204</sup>Tl</b><br>1,38 x 10 <sup>3</sup> jours                      | HCl 0,1 N   |                                | 0,763          |   |                                  |
| <b><sup>232</sup>U + descendants (1)</b><br>6,98 x 10 <sup>1</sup> ans       | HNO <sub>3</sub> 0,1 N                              | 5,263<br>5,320                 |                | 0,058   |                                  |
| <b><sup>233</sup>U</b><br>1,59 x 10 <sup>5</sup> ans                         | HNO <sub>3</sub> 1 N                                | 4,783<br>4,824                 |                | 0,042<br>0,054<br>0,097<br>0,146<br>0,164<br>0,291<br>0,317 | 0,029                            |
| <b><sup>127</sup>Xe</b><br>3,64 x 10 <sup>1</sup> jours                      | État gazeux   |                                |                | 0,057<br>0,145<br>0,172<br>0,203<br>0,375                   | 0,028<br>0,029<br>0,032<br>0,033 |
| <b><sup>133</sup>Xe</b><br>5,24 jours  | État gazeux   |                                | 0,346          | 0,081   | 0,031                            |
| <b><sup>88</sup>Y</b><br>1,07 x 10 <sup>2</sup> jours                        | HCl 0,1 N   |                                | 0,755          | 0,898<br>1,836  | 0,014                            |
| <b><sup>65</sup>Zn</b><br>2,44 x 10 <sup>2</sup> jours                       | HCl 0,1 N   |                                | 0,330          | 1,115   | 0,008<br>0,009                   |
| <b><sup>95</sup>Zr + <sup>95</sup>Nb (2)</b><br>6,40 x 10 <sup>1</sup> jours | HNO <sub>3</sub> 1 N                                |                                | 0,366<br>0,399 | 0,724<br>0,756<br>0,766                                     |                                  |

## Légende :

(1) Pas nécessairement à l'équilibre

(2) Pas à l'équilibre



# Index par radionucléides

## Américium 241 (<sup>241</sup>Am)

### Sources ponctuelles & étendues

|                           |              |
|---------------------------|--------------|
| Alpha & multi-alpha       | p. 2.1 - 2.2 |
| Radioprotection           | p. 2.8       |
| Sources ponctuelles gamma | p. 2.12      |

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.2 |
|------------|--------|

### Spectrométrie

|   |                 |
|---|-----------------|
| Résines (mélange)                                   | p. 5.2 - p. 5.4 |
| Solutions (mélange)                                 | p. 5.5          |
| Coffrets gamma                                      | p. 5.6          |
| Sources ponctuelles multigamma (mélange)            | p. 5.7          |
| Cartouches étalons gamma de charbon actif (mélange) | p. 5.8          |

### Sources spéciales

|  |              |
|--|--------------|
| Sources de neutrons ( <sup>241</sup> Am/Béryllium) | p. 8.2       |
| Sources gamma                                      | p. 8.4 - 8.5 |

## Argent 110 m (<sup>110</sup>Ag<sup>m</sup>)

### Solutions

|  |        |
|--|--------|
| Références ( <sup>110</sup> Ag <sup>m</sup> + <sup>110</sup> Ag) | p. 3.2 |
|--|--------|

## Baryum 133 (<sup>133</sup>Ba)

### Sources ponctuelles & étendues

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| Sources ponctuelles gamma | p. 2.12 |
|---------------------------|---------|

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.2 |
|------------|--------|

### Spectrométrie

|   |                 |
|---|-----------------|
| Résines (mélange)                         | p. 5.2 - p. 5.4 |
| Solutions (mélange)                       | p. 5.5          |
| Sources ponctuelles multigamma (mélange)  | p. 5.7          |
| Cartouches étalons gamma de charbon actif | p. 5.8          |

### Médecine nucléaire

|  |        |
|--|--------|
| Sources gamma de référence pour activimètres | p. 7.1 |
| Gamma ponctuelles                            | p. 7.2 |
| Sources pour T.E.P.                          | p. 7.3 |

## Cadmium 109 (<sup>109</sup>Cd)

### Sources ponctuelles & étendues

|  |         |
|--|---------|
| Sources ponctuelles gamma  | p. 2.12 |
| Sources X ( <sup>109</sup> Cd + <sup>109</sup> Ag <sup>m</sup> ) | p. 2.14 |

### Solutions

|   |        |
|---|--------|
| Références ( <sup>109</sup> Cd + <sup>109</sup> Ag <sup>m</sup> ) | p. 3.3 |
|---|--------|

### Spectrométrie

|   |                 |
|---|-----------------|
| Résines (mélange)                                   | p. 5.2 - p. 5.4 |
| Solutions (mélange)                                 | p. 5.5          |
| Coffrets gamma pour mesures de rendement            | p. 5.6          |
| Multigamma (mélange)                                | p. 5.7          |
| Cartouches étalons gamma de charbon actif (mélange) | p. 5.8          |

## Calcium 45 (<sup>45</sup>Ca)

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.3 |
|------------|--------|

## Californium 252 (<sup>252</sup>Cf)

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.5 |
|------------|--------|

### Sources spéciales

|                     |        |
|---------------------|--------|
| Sources de neutrons | p. 7.3 |
|---------------------|--------|

## Carbone 14 (<sup>14</sup>C)

### Sources ponctuelles & étendues

|   |                 |
|---|-----------------|
| Sources ponctuelles Bêta (étalonnages de détecteurs bêta) | p. 2.4 - p. 2.5 |
| Sources surfaciques (Radioprotection)                     | p. 2.8          |

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.3 |
|------------|--------|

## Cérium 139 (<sup>139</sup>Ce)

### Sources ponctuelles & étendues

|   |         |
|---|---------|
| Sources ponctuelles gamma (étalonnages en activité et mesures de rendement) | p. 2.12 |
|---|---------|

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.3 |
|------------|--------|

### Spectrométrie

|   |                 |
|---|-----------------|
| Résines (mélange)                                   | p. 5.2 - p. 5.4 |
| Solutions (mélange)                                 | p. 5.5          |
| Coffrets gamma                                      | p. 5.6          |
| Multigamma (mélange)                                | p. 5.7          |
| Cartouches étalons gamma de charbon actif (mélange) | p. 5.8          |

## Césium 134 (<sup>134</sup>Cs)

### Sources ponctuelles

|                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| Bêta (étalonnages de détecteurs bêta) | p. 2.4 - p. 2.5 |
|---------------------------------------|-----------------|

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.3 |
|------------|--------|

## Césium 137 (<sup>137</sup>Cs + <sup>137</sup>Ba<sup>m</sup>)

### Sources ponctuelles & étendues

|  |                 |
|--|-----------------|
| Bêta (étalonnages de détecteurs bêta)        | p. 2.4 - p. 2.5 |
| Radioprotection (alpha et bêta de référence) | p. 2.8          |
| Sources gamma                                | p. 2.12         |

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.4 |
|------------|--------|

### Spectrométrie

|  |                 |
|--|-----------------|
| Résines (mélange)  | p. 5.2 - p. 5.4 |
| Solutions (mélange)  | p. 5.5          |
| Coffrets gamma   | p. 5.6          |
| Sources ponctuelles multigamma (mélange 12ML01)  | p. 5.7          |
| Cartouches étalons gamma de charbon actif ( <sup>137</sup> Cs + <sup>137</sup> Ba <sup>m</sup> et mélange) | p. 5.8          |

### Médecine nucléaire

|   |        |
|---|--------|
| Sources gamma de référence pour activimètres ( <sup>137</sup> Cs + <sup>137</sup> Ba <sup>m</sup> ) | p. 7.2 |
|---|--------|

### Sources spéciales

|               |        |
|---------------|--------|
| Sources gamma | p. 7.3 |
|---------------|--------|

## 36 (<sup>36</sup>Cl)

### Sources ponctuelles & étendues

|  |                 |
|--|-----------------|
| Bêta (étalonnages de détecteurs bêta)        | p. 2.4 - p. 2.5 |
| Radioprotection (alpha et bêta de référence) | p. 2.8          |

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.3 |
|------------|--------|

## Chrome 51 (<sup>51</sup>Cr)

### Sources ponctuelles & étendues

|               |         |
|---------------|---------|
| Sources gamma | p. 2.12 |
|---------------|---------|

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.4 |
|------------|--------|

### Spectrométrie

|   |                 |
|---|-----------------|
| Résines (mélange)                                   | p. 5.2 - p. 5.4 |
| Solutions (mélange)                                 | p. 5.5          |
| Coffrets gamma                                      | p. 5.6          |
| Sources ponctuelles multigamma (mélange 12ML01)     | p. 5.7          |
| Cartouches étalons gamma de charbon actif (mélange) | p. 5.8          |

## Cobalt 57 (<sup>57</sup>Co)

### Sources ponctuelles & étendues

|               |         |
|---------------|---------|
| Sources gamma | p. 2.12 |
|---------------|---------|

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.3 |
|------------|--------|

### Spectrométrie

|   |                 |
|---|-----------------|
| Résines (mélange)                               | p. 5.2 - p. 5.4 |
| Solutions (mélange)                             | p. 5.5          |
| Coffrets gamma                                  | p. 5.6          |
| Sources ponctuelles multigamma (mélange 12ML01) | p. 5.7          |

### Médecine nucléaire

|  |        |
|--|--------|
| Sources étendues                             | p. 7.1 |
| Stylo marqueur                               | p. 7.7 |
| Sources gamma de référence pour activimètres | p. 7.2 |
| Gamma ponctuelles                            | p. 7.2 |
| Sources pour T.E.P.                          | p. 7.3 |

### Sources spéciales

|           |              |
|-----------|--------------|
| Mössbauer | p. 8.8 - 8.9 |
|-----------|--------------|

## Cobalt 60 (<sup>60</sup>Co)

### Sources ponctuelles & étendues

|  |         |
|--|---------|
| Bêta (étalonnages de détecteurs bêta)        | p. 2.5  |
| Radioprotection (alpha et bêta de référence) | p. 2.8  |
| Sources gamma                                | p. 2.12 |

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.3 |
|------------|--------|

### Spectrométrie

|   |                 |
|---|-----------------|
| Résines (mélange)                                   | p. 5.2 - p. 5.4 |
| Solutions (mélange)                                 | p. 5.5          |
| Coffrets (gamma pour étalonnages en activité)       | p. 5.6          |
| Sources ponctuelles multigamma (mélange 12ML01)     | p. 5.7          |
| Cartouches étalons gamma de charbon actif (mélange) | p. 5.8          |

### Sources spéciales

|               |        |
|---------------|--------|
| Sources gamma | p. 8.6 |
|---------------|--------|

## Curium 244 (<sup>244</sup>Cm)

### Sources ponctuelles & étendues

|                               |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| Alpha & multi-alpha (mélange) | p. 2.2 - p. 2.3 |
|-------------------------------|-----------------|

### Solutions

|            |        |
|------------|--------|
| Références | p. 3.3 |
|------------|--------|

## Étain 113 (<sup>113</sup>Sn)

### Sources ponctuelles & étendues

|               |         |
|---------------|---------|
| Sources gamma | p. 2.13 |
|---------------|---------|

### Solutions

|   |        |
|---|--------|
| Références ( <sup>113</sup> Sn + <sup>113</sup> In <sup>m</sup> ) | p. 3.4 |
|---|--------|

### Spectrométrie

|   |                 |
|---|-----------------|
| Résines (mélange)                                   | p. 5.2 - p. 5.4 |
| Solutions (mélange)                                 | p. 5.5          |
| Coffrets (gamma pour mesures de rendement)          | p. 5.6          |
| Sources ponctuelles multigamma (mélange 12ML01)     | p. 5.7          |
| Cartouches étalons gamma de charbon actif (mélange) | p. 5.8          |

# Index par radionucléides

## Étain 119 (<sup>119</sup>Sn)

### Sources spéciales

Mössbauer p. 8.8 - 8.9

## Europium 152 (<sup>152</sup>Eu)

### Solutions

Références p. 3.3

### Spectrométrie

Résines (mélange) p. 5.2 - p. 5.4

Solutions (mélange) p. 5.5

Sources ponctuelles p. 5.7

Cartouches étalons gamma de charbon actif p. 5.8

## Fer 55 (<sup>55</sup>Fe)

### Sources ponctuelles & étendues

Sources X p. 2.14

### Solutions

Références p. 3.3

## Fer 59 (<sup>59</sup>Fe)

### Solutions

Références p. 3.3

## Germanium 68 (<sup>68</sup>Ge)

### Médecine nucléaire

Sources pour T.E.P. p. 6.7

## Iode 125 (<sup>125</sup>I)

### Solutions

Références p. 3.3

## Iode 129 (<sup>129</sup>I)

### Solutions

Références p. 3.3

## Iode 131 (<sup>131</sup>I)

### Sources ponctuelles & étendues

Gamma (étalonnages en activité et mesures de rendement) p. 2.13

### Solutions

Références p. 3.3

## Krypton 85 (<sup>85</sup>Kr)

### Gaz

Ampoules et bouteilles métalliques de gaz p. 4.1 - p. 4.2

Étalons gazeux multigamma (mélange 9ML02) p. 4.3

## Manganèse 54 (<sup>54</sup>Mn)

### Sources ponctuelles & étendues

Sources gamma p. 2.13

### Solutions

Références p. 3.3

### Spectrométrie

Coffrets gamma p. 5.6

## Neptunium 237 (<sup>237</sup>Np)

### Solutions

Références (<sup>237</sup>Np + <sup>233</sup>Pa) p. 3.3

## Nickel 63 (<sup>63</sup>Ni)

### Solutions

Références p. 3.3

## Phosphore 32 (<sup>32</sup>P)

### Solutions

Références p. 3.3

## Plutonium 238 (<sup>238</sup>Pu)

### Sources ponctuelles & étendues

Alpha & multi-alpha p. 2.3

### Solutions

Références p. 3.4

## Plutonium 239 (<sup>239</sup>Pu)

### Sources ponctuelles & étendues

Alpha & multi-alpha (mélange 9ML04) p. 2.1 - p. 2.2

Radioprotection (alpha et bêta de référence) p. 2.10

### Solutions

Références p. 3.4

## Prométhéum 147 (<sup>147</sup>Pm)

### Sources ponctuelles & étendues

Bêta (étalonnages de détecteurs bêta) p. 2.4 - p. 2.5

Radioprotection (alpha et bêta de référence) p. 2.8

### Solutions

Références p. 3.3

## Sodium 22 (<sup>22</sup>Na)

### Sources ponctuelles & étendues

Bêta (étalonnages de détecteurs bêta) p. 2.4 - p. 2.5

Sources gamma p. 2.13

### Solutions

Références p. 3.3

### Spectrométrie

Coffrets gamma p. 5.6

## Soufre 35 (<sup>35</sup>S)

### Solutions

Références p. 3.5

## Strontium 85 (<sup>85</sup>Sr)

### Sources ponctuelles & étendues

Sources gamma p. 2.13

Sources X p. 2.14

### Solutions

Références p. 3.4

### Spectrométrie

Résines (mélange) p. 5.2 - p. 5.4

Solutions (mélange) p. 5.5

Coffrets gamma p. 5.6

Sources ponctuelles multigamma (mélange 12ML01) p. 5.7

Cartouches étalons gamma de charbon actif (mélange) p. 5.8

## Strontium 89 (<sup>89</sup>Sr)

### Sources ponctuelles & étendues

Bêta (étalonnages de détecteurs bêta) p. 2.4 - p. 2.5

### Solutions

Références p. 3.3

## Strontium 90 (<sup>90</sup>Sr + <sup>90</sup>Y)

### Sources ponctuelles & étendues

Bêta (étalonnages de détecteurs bêta) p. 2.4 - p. 2.5

Sources étendues Alpha et Bêta de référence p. 2.8

### Solutions

Références p. 3.3

## Technétium 99 (<sup>99</sup>Tc)

### Solutions

Références p. 3.4

## Thallium 204 (<sup>204</sup>Tl)

### Sources ponctuelles & étendues

Bêta (étalonnages de détecteurs bêta) p. 2.4 - p. 2.5

### Solutions

Références p. 3.3

## Tritium (<sup>3</sup>H)

### Solutions

Références p. 3.2

## Uranium 233 (<sup>233</sup>U)

### Sources ponctuelles & étendues

Alpha p. 2.1 - p. 2.2

### Solutions

Références p. 3.3

## Xénon 127 (<sup>127</sup>Xe)

### Spectrométrie

Étalons gazeux multigamma (mélange) p. 4.3

## Xénon 133 (<sup>133</sup>Xe)

### Gaz

Ampoules et bouteilles métalliques de gaz p. 4.1 - p. 4.2

Étalons gazeux multigamma (mélange 9ML02) p. 4.3

## Yttrium 88 (<sup>88</sup>Y)

### Sources ponctuelles & étendues

#### Gamma

(étalonnages en activité et mesures de rendement) p. 2.13

### Solutions

Références p. 3.4

### Spectrométrie

Résines (mélange) p. 5.2 - p. 5.4

Solutions (mélange) p. 5.5

Coffrets (gamma pour étalonnages en activité) p. 5.6

Sources ponctuelles multigamma (mélange 12ML01) p. 5.7

Cartouches étalons gamma de charbon actif (mélange) p. 5.8

## Zinc 65 (<sup>65</sup>Zn)

### Sources ponctuelles & étendues

Sources gamma pour étalonnages p. 2.13

Sources X p. 2.14

### Solutions

Références p. 3.3

### Spectrométrie

Coffrets (gamma pour mesures de rendement) p. 5.6

## Autres radionucléides disponibles

p. 3.4