

---

---

**Mesurage de la radioactivité dans  
l'environnement — Sol —**

Partie 5:  
**Strontium 90 — Méthode d'essai par  
comptage proportionnel ou comptage  
par scintillation en milieu liquide**

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

*Measurement of radioactivity in the environment — Soil —*

*Part 5: Strontium 90 — Test method using proportional counting or  
liquid scintillation counting*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/224e1802-6288-4128-bd2f-f55363211849/iso-18589-5-2019>



**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 18589-5:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/224e1802-6288-4128-bd2f-f5363211849/iso-18589-5-2019>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2019

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8  
CH-1214 Vernier, Genève  
Tél.: +41 22 749 01 11  
Fax: +41 22 749 09 47  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
Introduction.....	vi
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>2</b>
3.1    Termes et définitions.....	2
3.2    Symboles.....	2
<b>4</b> <b>Principe</b> .....	<b>3</b>
4.1    Généralités.....	3
4.2    Séparation chimique.....	3
4.3    Détection.....	4
4.3.1    Généralités.....	4
4.3.2    Préparation de la source pour le compteur à scintillations en milieu liquide.....	4
4.3.3    Préparation de la source pour le compteur proportionnel.....	4
4.3.4    Détermination du mouvement propre.....	5
<b>5</b> <b>Réactifs chimiques et appareillage</b> .....	<b>6</b>
<b>6</b> <b>Mode opératoire de désorption du strontium</b> .....	<b>6</b>
6.1    Principes.....	6
6.2    Ressources techniques.....	6
6.2.1    Appareillage.....	6
6.2.2    Réactifs chimiques.....	6
6.3    Mode opératoire.....	6
<b>7</b> <b>Mode opératoire de séparation chimique par précipitation</b> .....	<b>7</b>
7.1    Principes.....	7
7.2    Ressources techniques.....	8
7.2.1    Appareillage.....	8
7.2.2    Réactifs chimiques.....	8
7.3    Mode opératoire.....	9
7.3.1    Séparation des métaux alcalins et du calcium.....	9
7.3.2    Séparation du baryum, du radium et du plomb.....	9
7.3.3    Séparation des produits de fission et de l'yttrium.....	9
7.3.4    Purification du strontium.....	10
7.3.5    Extraction de l'yttrium.....	11
7.3.6    Détermination des rendements chimiques.....	12
<b>8</b> <b>Mode opératoire de séparation chimique par extraction liquide-liquide</b> .....	<b>12</b>
8.1    Principe.....	12
8.2    Ressources techniques.....	13
8.2.1    Appareillage.....	13
8.2.2    Réactifs chimiques.....	13
8.3    Mode opératoire.....	14
8.3.1    Généralités.....	14
8.3.2    Séparation chimique de l'yttrium.....	14
8.3.3    Préparation de la source à mesurer par le compteur proportionnel.....	15
8.3.4    Préparation de la source à mesurer par le compteur à scintillations en milieu liquide.....	15
8.3.5    Détermination des rendements chimiques.....	15
<b>9</b> <b>Mode opératoire de séparation chimique par chromatographie (résine de type éther couronne)</b> .....	<b>16</b>
9.1    Principes.....	16
9.2    Ressources techniques.....	16
9.2.1    Appareillage.....	16

9.2.2	Réactifs chimiques.....	17
9.3	Mode opératoire.....	17
9.3.1	Généralités.....	17
9.3.2	Séparation chimique du strontium.....	17
9.3.3	Détermination du rendement chimique.....	18
<b>10</b>	<b>Mesurage.....</b>	<b>18</b>
10.1	Généralités.....	18
10.2	Compteur à scintillations en milieu liquide.....	18
10.3	Compteur proportionnel à circulation gazeuse.....	19
10.4	Calcul du rendement de comptage.....	19
<b>11</b>	<b>Expression des résultats.....</b>	<b>20</b>
11.1	Généralités.....	20
11.2	Détermination du <sup>90</sup> Sr à l'équilibre avec le <sup>90</sup> Y.....	20
11.2.1	Calcul de l'activité par unité de masse.....	20
11.2.2	Incertitude-type.....	20
11.2.3	Seuil de décision.....	21
11.2.4	Limite de détection.....	21
11.3	Détermination du <sup>90</sup> Sr par le <sup>90</sup> Y.....	21
11.3.1	Calcul de l'activité par unité de masse.....	21
11.3.2	Incertitude-type.....	22
11.3.3	Seuil de décision.....	22
11.3.4	Limite de détection.....	22
11.4	Détermination de <sup>90</sup> Sr en présence de <sup>89</sup> Sr lorsque le <sup>90</sup> Sr et le <sup>90</sup> Y sont en équilibre.....	23
11.4.1	Calcul de l'activité par unité de masse.....	23
11.4.2	Incertitude-type.....	23
11.4.3	Seuil de décision.....	24
11.4.4	Limite de détection.....	24
11.5	Limites de l'intervalle de confiance.....	25
<b>12</b>	<b>Rapport d'essai.....</b>	<b>25</b>
<a href="https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/224e1802-6288-4128-bd2f-55363211849/iso-18589-5-2019">https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/224e1802-6288-4128-bd2f-55363211849/iso-18589-5-2019</a>		
<b>Annexe A (informative) Exemples de modèles d'évaluation.....</b>		<b>26</b>
<b>Bibliographie.....</b>		<b>33</b>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [www.iso.org/iso/fr/avant-propos](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 85, *Énergie nucléaire, technologies nucléaires, et radioprotection*, sous-comité SC 2, *Radioprotection*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 18589-5:2009), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- révision de l'introduction conformément à l'introduction générale adoptée pour les normes publiées traitant du mesurage de la radioactivité dans l'environnement.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 18589 se trouve sur le site web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/fr/members.html](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

Tout individu est exposé à des rayonnements naturels. Les sources naturelles de rayonnement sont les rayons cosmiques et les substances radioactives naturellement présentes dans la terre, la faune et la flore, incluant le corps humain. Les activités anthropiques impliquant l'utilisation de rayonnements et de substances radioactives s'ajoutent à l'exposition aux rayonnements résultant de cette exposition naturelle. Certaines de ces activités, dont l'exploitation minière et l'utilisation de minerais contenant des matières radioactives naturelles (MRN) ainsi que la production d'énergie par combustion de charbon contenant ces substances, ne font qu'augmenter l'exposition des sources naturelles de rayonnement. Les centrales électriques nucléaires et autres installations nucléaires emploient des matières radioactives et génèrent des effluents et des déchets radioactifs dans le cadre de leur exploitation et leur déclassement. L'utilisation de matières radioactives dans les secteurs de l'industrie, de l'agriculture et de la recherche connaît un essor mondial.

Toutes ces activités anthropiques provoquent des expositions aux rayonnements qui ne représentent qu'une petite fraction du niveau moyen mondial d'exposition naturelle. Dans les pays développés, l'utilisation des rayonnements à des fins médicales représente la plus importante source anthropique d'exposition aux rayonnements et qui de plus ne cesse d'augmenter. Ces applications médicales englobent la radiologie diagnostique, la radiothérapie, la médecine nucléaire et la radiologie interventionnelle.

L'exposition aux rayonnements découle également d'activités professionnelles. Elle est subie par les employés des secteurs de l'industrie, de la médecine et de la recherche qui utilisent des rayonnements ou des substances radioactives, ainsi que par les passagers et le personnel navigant pendant les voyages aériens. Le niveau moyen des expositions professionnelles est généralement inférieur au niveau moyen mondial des expositions naturelles aux rayonnements (voir Référence [1]).

Du fait de l'utilisation croissante des rayonnements, le risque pour la santé et les préoccupations du public augmentent. Par conséquent, toutes ces expositions sont régulièrement évaluées afin:

- de mieux connaître les niveaux mondiaux et les tendances temporelles de l'exposition du public et des salariés;
- d'évaluer les composantes de l'exposition et de chiffrer leur importance relative;
- d'identifier de nouvelles problématiques qui peuvent mériter une plus grande attention et une surveillance. Alors que les doses reçues par les travailleurs sont le plus souvent mesurées directement, celles reçues par le public sont habituellement évaluées par des méthodes indirectes qui consistent à exploiter les résultats des mesurages de la radioactivité de déchets, effluents et/ou échantillons environnementaux.

Afin de garantir que les données obtenues dans le cadre de programmes de surveillance de la radioactivité permettent de répondre à l'objectif de l'évaluation, il est primordial que les parties prenantes (par exemple, les exploitants de site nucléaire, les organismes de réglementation et les autorités locales) conviennent des méthodes et modes opératoires appropriés pour obtenir des échantillons représentatifs ainsi que pour la manipulation, le stockage, la préparation et le mesurage des échantillons pour essai. Il est également nécessaire de procéder systématiquement à une évaluation de l'incertitude globale de mesure. Pour toute décision en matière de santé publique s'appuyant sur des mesures de la radioactivité, il est capital que les données soient fiables, comparables et adéquates par rapport à l'objectif de l'évaluation; c'est pourquoi les normes internationales spécifiant des méthodes d'essai des radionucléides qui ont été vérifiées par des essais et validées sont un outil important dans l'obtention de tels résultats de mesure. L'application de normes permet également de garantir la comparabilité des résultats d'essai dans le temps et entre différents laboratoires d'essai. Les laboratoires les appliquent pour démontrer leurs compétences techniques et pour passer les essais d'aptitude lors d'études interlaboratoires, deux conditions préalables à l'obtention d'une accréditation nationale.

À l'heure actuelle, plus d'une centaine de Normes internationales sont à la disposition des laboratoires d'essai pour leur permettre de mesurer les radionucléides dans différentes matrices.

Les normes générales aident les laboratoires d'essai à maîtriser le processus de mesure en définissant les exigences et méthodes générales d'étalonnage des appareils et de validation des techniques. Ces normes viennent à l'appui de normes spécifiques qui décrivent les méthodes d'essai à mettre en œuvre par le personnel, par exemple pour différents types d'échantillons. Les normes spécifiques couvrent les méthodes d'essai relatives aux:

- radionucléides naturels (comprenant le  $^{40}\text{K}$ , le  $^3\text{H}$ , le  $^{14}\text{C}$  et les radionucléides des familles radioactives du thorium et de l'uranium, notamment le  $^{226}\text{Ra}$ , le  $^{228}\text{Ra}$ , le  $^{234}\text{U}$ , le  $^{238}\text{U}$  et le  $^{210}\text{Pb}$ ) qui peuvent être retrouvés dans des matériaux issus de sources naturelles ou qui peuvent être émis par des procédés technologiques impliquant des matières radioactives naturelles (par exemple, l'exploitation minière et le traitement des sables minéraux ou la production et l'utilisation d'engrais phosphatés);
- radionucléides anthropiques, tels que les éléments transuraniens (américium, plutonium, neptunium, curium), le  $^3\text{H}$ , le  $^{14}\text{C}$ , le  $^{90}\text{Sr}$  et les radionucléides émetteurs gamma retrouvés dans les déchets, les effluents liquides et gazeux, dans les matrices environnementales (telles que l'eau, l'air, le sol, le biote), dans l'alimentation et dans les aliments pour animaux à la suite de rejets autorisés dans l'environnement, d'une contamination par des retombées radioactives engendrées par l'explosion dans l'atmosphère de dispositifs nucléaires et d'une contamination par des retombées radioactives résultant d'accidents tels que ceux qui se sont produits à Tchernobyl et à Fukushima.

La fraction du débit de dose d'exposition au rayonnement bruit de fond due aux rayonnements environnementaux, principalement aux rayonnements gamma, qu'une personne reçoit est très variable et dépend de plusieurs facteurs tels que la radioactivité de la roche locale et du sol local, la nature des matériaux de construction et la construction des bâtiments dans lesquels les personnes vivent ou travaillent.

## iTeh STANDARD PREVIEW

Une détermination fiable de l'activité massique des radionucléides émetteurs gamma dans différentes matrices est nécessaire pour évaluer le niveau potentiel d'exposition des êtres humains, vérifier la conformité à la législation en matière d'environnement et de radioprotection ou donner des recommandations visant à limiter les risques sur la santé. Les radionucléides émetteurs gamma sont également utilisés en tant que traceurs en biologie, médecine, physique, chimie et ingénierie. Un mesurage précis de l'activité des radionucléides est également nécessaire pour la sécurité intérieure et dans le cadre du traité de non-prolifération (T.N.P.).

Le présent document décrit les exigences s'appliquant à la quantification de l'activité des isotopes du  $^{90}\text{Sr}$  dans des échantillons de sol suite à un échantillonnage, à un traitement des échantillons et à une préparation des échantillons pour essai dans un laboratoire d'essai ou sur site appropriés.

Le présent document doit être utilisé dans le cadre d'un système de management de l'assurance qualité (ISO/IEC 17025).

Le présent document est publié en plusieurs parties, à utiliser ensemble ou séparément selon les besoins. Elles sont complémentaires entre elles et s'adressent aux personnes chargées de déterminer la radioactivité présente dans les sols, les socles rocheux et le minerai (MRN ou MRNAT). Les deux premières parties sont générales et décrivent la définition des programmes et des techniques d'échantillonnage, des méthodes de traitement général d'échantillons dans le laboratoire (ISO 18589-1), ainsi que la stratégie d'échantillonnage et la technique d'échantillonnage des échantillons de sol, la manipulation et la préparation des échantillons de sol (ISO 18589-2). Les normes ISO 18589-3 à ISO 18589-5 traitent de méthodes d'essai propres à un nucléide pour quantifier l'activité massique des radionucléides émetteurs gamma (ISO 18589-3 et ISO 20042), des isotopes de plutonium (ISO 18589-4) et du  $^{90}\text{Sr}$  (ISO 18589-5) des échantillons de sol. L'ISO 18589-6 traite des mesurages non spécifiques pour quantifier rapidement des activités alpha globale ou bêta globale et l'ISO 18589-7 décrit un mesurage in situ de radionucléides émetteurs gamma.

Les méthodes d'essai décrites dans les normes ISO 18589-3 à ISO 18589-6 peuvent également être utilisées pour mesurer les radionucléides dans une boue, dans un sédiment, dans un matériau de construction et dans des produits de construction en suivant un mode opératoire d'échantillonnage approprié.

## ISO 18589-5:2019(F)

Le présent document fait partie d'un ensemble de Normes internationales traitant du mesurage de la radioactivité dans l'environnement.

D'autres parties sont susceptibles d'être ajoutées ultérieurement à l'ISO 18589, s'il devient nécessaire de normaliser les mesurages d'autres radionucléides.

## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 18589-5:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/224e1802-6288-4128-bd2f-f5363211849/iso-18589-5-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/224e1802-6288-4128-bd2f-f5363211849/iso-18589-5-2019>

# Mesurage de la radioactivité dans l'environnement — Sol —

## Partie 5:

# Strontium 90 — Méthode d'essai par comptage proportionnel ou comptage par scintillation en milieu liquide

## 1 Domaine d'application

Le présent document décrit les principes de mesure de l'activité du  $^{90}\text{Sr}$  en équilibre avec le  $^{90}\text{Y}$  et le  $^{89}\text{Sr}$ , qui sont des radionucléides émetteurs bêta purs, dans des échantillons de sol. Différentes méthodes de séparation chimique sont présentées afin de produire des sources de strontium et d'yttrium dont l'activité est déterminée au moyen de compteurs proportionnels (PC, proportional counter) ou de compteurs à scintillations en milieu liquide (LSC, liquid scintillation counter). Le  $^{90}\text{Sr}$  des échantillons pour essai peut être obtenu lorsque l'équilibre entre le  $^{90}\text{Sr}$  et le  $^{90}\text{Y}$  est atteint, ou par mesurage direct du  $^{90}\text{Y}$ . Le choix de la méthode de mesure dépend de l'origine de la contamination, des caractéristiques du sol à analyser, de l'exactitude de mesure requise et des ressources des laboratoires disponibles.

Ces méthodes servent à contrôler le sol suite à des rejets, qu'ils soient passés ou présents, accidentels ou de routine, liquides ou gazeux. Ces méthodes couvrent également le contrôle de la contamination due aux retombées nucléaires mondiales.

Dans le cas de retombées récentes se produisant immédiatement après un accident nucléaire, la contribution du  $^{89}\text{Sr}$  au total de l'activité du strontium n'est pas négligeable. La présente norme fournit la méthode de mesure permettant de déterminer l'activité du  $^{90}\text{Sr}$  en présence de  $^{89}\text{Sr}$ .

Les méthodes d'essai décrites dans le présent document peuvent également être utilisées pour mesurer les radionucléides dans une boue, dans un sédiment, dans un matériau de construction et dans des produits de construction en suivant un mode opératoire d'échantillonnage approprié.

Pour des échantillons de 20 g et un temps de comptage de 1 000 min, il est possible d'atteindre des limites de détection comprises entre (0,1 et 0,5)  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  pour le  $^{90}\text{Sr}$  au moyen d'un compteur proportionnel ou d'un compteur à scintillations en milieu liquide classique disponible dans le commerce lorsque la quantité de  $^{89}\text{Sr}$  présent dans l'échantillon peut être négligée. Si l'échantillon pour essai contient du  $^{89}\text{Sr}$ , il est possible d'atteindre des limites de détection comprises entre (1 et 2)  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  pour le  $^{90}\text{Sr}$  et le  $^{89}\text{Sr}$  au moyen d'un compteur proportionnel ou d'un compteur à scintillations en milieu liquide pour des échantillons de même taille et pour le même temps de comptage que susmentionné.

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 11074, *Qualité du sol — Vocabulaire*

ISO 11929 (toutes les parties), *Détermination des limites caractéristiques (seuil de décision, limite de détection et extrémités de l'intervalle élargi) pour mesurages de rayonnements ionisants — Principes fondamentaux et applications*

ISO 19361, *Mesurage de la radioactivité — Détermination de l'activité des radionucléides émetteurs bêta — Méthode d'essai par comptage des scintillations en milieu liquide*

ISO/IEC 17025, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

ISO 18589-2, *Mesurage de la radioactivité dans l'environnement — Sol — Partie 2: Lignes directrices pour la sélection de la stratégie d'échantillonnage, l'échantillonnage et le prétraitement des échantillons*

ISO 80000-10, *Grandeurs et unités — Partie 10: Physique atomique et nucléaire*

Guide ISO/IEC 98-3, *Incertitude de mesure — Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

### 3 Termes et définitions

#### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 11074, l'ISO 18589-1, l'ISO 11929 (toutes les parties) et l'ISO 80000-10 s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>;
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>.

#### 3.2 Symboles

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

$m$	masse de la prise d'essai, en unité de masse
$a_i$	activité par unité de masse du radionucléide $i$ , en becquerels par unité de masse
$A_{s,i}$	activité de l'étalon de mesure de référence du radionucléide $i$ à la date de l'étalonnage, en becquerels
$A_i$	activité de la source échantillon du radionucléide $i$ à $t = 0$ , en becquerels
$t_g$	temps de comptage de l'échantillon, en secondes
$t_0$	temps de comptage du mouvement propre, en secondes
$t_s$	temps de comptage de l'étalon de mesure de référence
$r_g$	taux de comptage brut, par seconde
$r_0$	taux de comptage du mouvement propre, par seconde
$r_s$	taux de comptage de l'étalon de mesure de référence, par seconde
$R_{c,i}$	rendement chimique de l'extraction du radionucléide $i$
$\varepsilon_i$	rendement de comptage pour le radionucléide $i$
$\lambda_i$	constante de désintégration du radionucléide $i$
$t_d, t_f$	temps, respectivement de début et de fin du mesurage, avec $t = 0$ , comme référence, en secondes
$r_{gj}$	taux de comptage brut pour le mesurage de $j$ , par seconde
$r_{0j}$	taux de comptage du mouvement propre pour le mesurage $j$ , par seconde

$r_j$	taux de comptage net pour le mesurage de $j$ , par seconde
$t_j$	heure du début du mesurage $j$ , avec $t = 0$ comme référence
$u(X)$	incertitude-type associée à $X$
$U$	incertitude élargie calculée par $U = k \cdot u(X)$ avec $k = 1, 2, \dots$
$a_i^*$	seuil de décision du radionucléide $i$ , en becquerels par unité de masse
$a_i^\#$	limite de détection du radionucléide $i$ , en becquerels par unité de masse
$a_i^<, a_i^>$	limites inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance du radionucléide $i$ , en becquerels par unité de masse

## 4 Principe

### 4.1 Généralités

Du point de vue de la détection, il peut être considéré que le  $^{90}\text{Sr}$ , le  $^{90}\text{Y}$  et le  $^{89}\text{Sr}$  sont des radionucléides émetteurs bêta purs. Leurs énergies d'émission bêta et leurs périodes sont indiquées dans le [Tableau 1](#) [2][3].

Tableau 1 — Énergies moyennes d'émission bêta et périodes du  $^{90}\text{Sr}$ , du  $^{90}\text{Y}$  et du  $^{89}\text{Sr}$

	$^{90}\text{Sr}$	$^{90}\text{Y}$	$^{89}\text{Sr}$
Énergie bêta, keV	196	926,7	584,6
Période	28,8 a	2,67 j	50,6 j

Le  $^{89}\text{Sr}$  et le  $^{90}\text{Sr}$  peuvent être mesurés directement. Le  $^{90}\text{Sr}$  peut être estimé par le mesurage de son produit de filiation, le  $^{90}\text{Y}$ . Tous les mesurages sont basés sur une étape de séparation chimique suivie du comptage bêta de l'élément au moyen d'un compteur proportionnel ou d'un compteur à scintillations en milieu liquide (voir [Tableau 2](#)).

Un traitement acide préalable permet la désorption du strontium de la prise d'essai du sol, qui est alors présent dans le lixiviat de la solution. L'élément traceur ou l'élément entraîneur est ajouté au début de cette étape du mode opératoire. Il convient de laisser s'écouler un temps suffisant, généralement jusqu'à un jour, pour obtenir l'équilibre avant de commencer la désorption du strontium.

Une méthode de désorption du strontium pour les échantillons de sol est donnée à l'[Article 6](#).

### 4.2 Séparation chimique

Suite à l'étape de désorption de la prise d'essai du sol, le strontium doit être isolé de la solution du sol par précipitation ou par séparation par résine chromatographique spécifique, telle que les résines de type éther couronne. L'yttrium peut être isolé par précipitation ou par extraction liquide-liquide.

Il convient que l'étape de séparation maximise l'extraction de l'élément pur. La méthode choisie doit être sélective et présenter un rendement de séparation radiochimique élevé. Dans la mesure où des radio-isotopes de thorium, plomb et bismuth sont présents dans le sol à des niveaux d'activité élevés, ils doivent être éliminés de l'échantillon, car ils peuvent interférer avec l'émission de  $^{90}\text{Sr}$ , de  $^{90}\text{Y}$  ou de  $^{89}\text{Sr}$  au cours de l'étape de détection. Les autres constituants de la matrice susceptibles de générer des interférences, tels que les éléments alcalino-terreux, le calcium pour le strontium, ou les éléments transuraniens et les lanthanides pour l'yttrium, doivent également être éliminés dans la mesure où ils réduisent le rendement chimique de l'extraction.

Le rendement de la séparation radiochimique est calculé en utilisant un élément entraîneur tel que le Sr ou l'Y stables, ou un élément traceur radioactif, tel que le  $^{85}\text{Sr}$ . Des techniques telles que la spectroscopie

d'absorption atomique (AAS), la spectroscopie d'émission atomique (ICP-AES) ou la spectrométrie de masse (ICP-MS) utilisées pour mesurer l'élément entraîneur, et la spectrométrie gamma utilisée pour mesurer le  $^{85}\text{Sr}$ , sont recommandées. Des méthodes gravimétriques permettent également de mesurer l'élément entraîneur, mais la présence d'éléments inactifs, essentiellement des éléments alcalino-terreux, dans les solutions de lixiviation peut conduire à une surestimation des rendements de la séparation radiochimique, notamment pour le mesurage du strontium.

Lorsque du strontium stable est ajouté comme élément entraîneur, sa concentration initiale dans l'échantillon pour essai avant ajout doit être connue pour éviter toute surestimation du rendement de la séparation chimique.

Trois techniques de séparation chimique sont communément employées: la précipitation, l'extraction liquide-liquide et la chromatographie sur une résine sélective de type éther couronne<sup>[4][5][6]</sup>. Les [Articles 7, 8](#) et [9](#) fournissent un mode opératoire pour chacune de ces techniques.

### 4.3 Détection

#### 4.3.1 Généralités

L'utilisation d'un compteur à scintillations en milieu liquide est recommandée, en fonction de la compatibilité entre le solvant du compteur et l'échantillon, car ce type de compteur peut permettre d'obtenir les spectres d'énergie et de distinguer toute interférence de radionucléides non désirés. Le compteur à scintillations en milieu liquide peut également être utilisé avec de l'eau comme solvant pour le comptage des photons Cerenkov. Cependant, le compteur à scintillations en milieu liquide est soumis à un affaiblissement lumineux d'origine optique et chimique. Un compteur proportionnel, en revanche, ne permet pas de faire la distinction entre les émissions de différents émetteurs bêta, mais permet d'exclure la contamination alpha et n'est pas soumis à l'effet Cerenkov ou à l'affaiblissement lumineux de l'échantillon. En cas d'utilisation d'un compteur proportionnel, il est recommandé de vérifier la pureté du précipité en suivant l'évolution sur une période appropriée de l'activité de  $^{90}\text{Y}$  ou de  $^{89}\text{Sr}$ , même si cette méthode est pénalisante du point de vue du temps.

#### 4.3.2 Préparation de la source pour le compteur à scintillations en milieu liquide

La prise d'essai est mélangée avec le cocktail scintillant dans un flacon de comptage pour obtenir un milieu homogène (source de scintillation). Les particules bêta émises par la prise d'essai transfèrent leur énergie aux molécules du cocktail scintillant, provoquant leur excitation. Le retour à l'état fondamental induit une émission de photons qui peuvent ensuite être détectés à l'aide des tubes photomultiplicateurs (phototubes). Les recommandations de l'ISO 19361 doivent être prises en compte afin de correctement réaliser les mesurages effectués au moyen d'un compteur à scintillations en milieu liquide.

Le précipité de Sr ou de Y est dissous et mélangé au cocktail scintillant. Le volume de la solution dépend du matériel (taille du flacon) et du cocktail scintillant spécifiques utilisés.

L'étalon de mesure de référence doit être préparé à partir d'une quantité connue d'élément traceur ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  ou  $^{90}\text{Y}$ ) avec la même géométrie et la même composition chimique que la source à mesurer. Des méthodes permettant l'étalonnage avec des radionucléides différents sont également disponibles.

Il convient de préparer la source de blanc suivant la méthode choisie, en commençant par une prise d'essai sans  $^{90}\text{Sr}$  (ou directement de l'eau distillée).

#### 4.3.3 Préparation de la source pour le compteur proportionnel

Le compteur proportionnel mesure directement l'émission bêta de la source, préparée à partir d'une couche mince déposée, de manière à réduire au minimum les effets d'auto-absorption.

Le précipité Sr ou Y est déposé sur un filtre par filtration ou sur une coupelle en acier inoxydable par évaporation directe.

Il convient de définir le diamètre du filtre ou de la coupelle à utiliser selon les exigences du compteur, c'est-à-dire le diamètre du détecteur et les dimensions du porte-source.

L'étalon de mesure de référence doit être préparé à partir d'une quantité connue d'élément traceur ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  ou  $^{90}\text{Y}$ ) avec la même géométrie et la même composition chimique que la source à mesurer.

Il convient de préparer la source de blanc suivant la méthode choisie en commençant par une prise d'essai propre (ou directement de l'eau distillée).

#### 4.3.4 Détermination du mouvement propre

Mesurer le mouvement propre au moyen d'une source de blanc préparée pour la méthode choisie.

Tableau 2 — Modes opératoires de détermination du strontium selon son origine

Origine		Anciennes retombées				Retombées récentes	
Teneurs en radionucl.		$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$				$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ $^{89}\text{Sr}$	
Séparation	Élément	Sr		Y <sup>a</sup>		Sr	
	Méthode	Chromatographie <sup>b</sup>	Précipitation	Extraction	Précipitation	Chromatographie <sup>c</sup>	Précipitation
	Produit	$^{90}\text{Sr}$		$^{90}\text{Y}$		$^{90}\text{Sr}+^{89}\text{Sr}$	
	Élément entraîneur ou traceur <sup>d</sup>	$^{85}\text{Sr}$ ou Sr stable		Y stable		$^{85}\text{Sr}$ ou Sr stable	
Mesurage(s)	Équilibre $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$	Oui 15-20 jours (recommandé)		Non		Oui 15-20 jours (recommandé)	Non
	Nombre	Un		Un		Deux ou plus	
	Émissions	$^{90}\text{Sr}$ $^{90}\text{Y}$		$^{90}\text{Y}$		$^{90}\text{Sr}$ $^{90}\text{Y}$ $^{89}\text{Sr}$	
	Appareillage	Compteur proportionnel ou compteur à scintillations en milieu liquide (total)		Compteur proportionnel ou compteur à scintillations en milieu liquide (total ou Cherenkov)		Compteur proportionnel ou compteur à scintillations en milieu liquide (total)	
	Sources d'étal.	$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$	$^{90}\text{Sr}$ $^{90}\text{Y}$	$^{90}\text{Y}$		$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ $^{89}\text{Sr}$	$^{90}\text{Sr}$ $^{90}\text{Y}$ $^{89}\text{Sr}$

<sup>a</sup> La séparation de l'Y est réalisée après avoir atteint l'équilibre  $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$  dans l'échantillon pour essai.

<sup>b</sup> Chromatographie spécifique utilisant de la résine de type éther couronne.

<sup>c</sup> Chromatographie spécifique utilisant de la résine de type éther couronne.

<sup>d</sup> Des mesurages d'un élément traceur ou entraîneur sont réalisés par spectrométrie gamma pour le  $^{85}\text{Sr}$  et par gravimétrie, spectroscopie d'absorption atomique (AAS) ou spectrométrie de masse (MS) pour le Sr et l'Y.