

---

---

**Mesurage de la radioactivité —  
Mesurage et évaluation de la  
contamination de surface —**

**Partie 3:  
Étalonnage de l'appareillage**

*Measurement of radioactivity — Measurement and evaluation of  
surface contamination —*

*Part 3: Apparatus calibration*

Sample Document

get full document from [standards.iteh.ai](https://standards.iteh.ai)



# Sample Document

get full document from [standards.iteh.ai](https://standards.iteh.ai)



## DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2016, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401  
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland  
Tel. +41 22 749 01 11  
Fax +41 22 749 09 47  
[copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
[www.iso.org](http://www.iso.org)

## Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
<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, définitions, symboles et abréviations</b> .....	<b>2</b>
3.1    Termes et définitions.....	2
3.2    Symboles et abréviations.....	2
<b>4</b> <b>Méthodes d'évaluation de la contamination de surface</b> .....	<b>3</b>
<b>5</b> <b>Principale méthodologie d'étalonnage direct incluant la correction des sommations</b> .....	<b>4</b>
5.1    Généralités.....	4
5.2    Étalonnage pour les radionucléides à schémas de désintégration à émission unique.....	4
5.3    Facteur <b>P</b> pour les radionucléides à schémas de désintégration non complexes.....	6
5.4    Facteurs <b>P</b> pour les radionucléides à schémas de désintégration complexes.....	8
5.5    Estimation générique de la réponse de l'instrument.....	9
5.5.1    Détermination de la réponse énergétique de l'instrument.....	9
5.5.2    Modélisation des voies de désintégration du radionucléide examiné.....	11
5.5.3    Détermination de la réponse globale de l'instrument.....	13
5.5.4    Méthode de détermination simplifiée de la réponse globale de l'instrument.....	13
5.6    Conclusion.....	13
<b>6</b> <b>Rapport d'essai</b> .....	<b>14</b>
<b>Annexe A (normative) Méthodologie d'étalonnage alternative</b> .....	<b>16</b>
<b>Annexe B (normative) Évaluation directe de la contamination de surface: exemples numériques d'étalonnage</b> .....	<b>27</b>
<b>Annexe C (informative) Évaluation de la contamination de surface pour les mélanges de radionucléides</b> .....	<b>38</b>
<b>Annexe D (informative) Étalonnage pour l'évaluation indirecte de la contamination de surface</b> .....	<b>41</b>
<b>Annexe E (informative) Application de l'ISO 11929 pour l'évaluation directe des contaminations de surface</b> .....	<b>45</b>
<b>Annexe F (informative) Application de l'ISO 11929 pour l'évaluation indirecte des contaminations de surface</b> .....	<b>56</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>63</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 appelée 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'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [www.iso.org/iso/fr/foreword.html](http://www.iso.org/iso/fr/foreword.html).

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 85, *Énergie nucléaire, technologies nucléaires et radioprotection*, Sous-comité SC 2, *Radioprotection*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 7503-3:1996), qui a fait l'objet d'une révision technique.

ISO 7503 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Mesurage de la radioactivité — Mesurage et évaluation de la contamination de surface*:

- *Partie 1: Principes généraux*
- *Partie 2: Méthode d'essai utilisant des échantillons d'essai de frottis*
- *Partie 3: Étalonnage de l'appareillage*

## Introduction

L'ISO 7503 fournit des lignes directrices pour le mesurage de la contamination de surface. L'ISO 7503 est applicable à de nombreuses situations où peut survenir une contamination radioactive résultant d'un rejet radioactif dans l'environnement local. Dans la majorité des cas, ce rejet est accidentel mais il peut parfois être délibéré. Bien que le but et le domaine d'application de l'étude puissent différer, les approches adoptées pour mesurer les niveaux et l'étendue de la contamination sont sensiblement similaires.

La contamination radioactive peut résulter d'un certain nombre d'activités ou d'événements tels que:

- l'utilisation régulière de produits chimiques radioactifs en laboratoire;
- les traitements médicaux;
- les applications industrielles;
- les accidents de transport;
- les dysfonctionnements d'équipements;
- les incidents malveillants;
- les accidents nucléaires.

Sans connaissance des processus ni documentation, il n'est pas toujours possible d'identifier ou de distinguer les différents radionucléides constituant une contamination de surface et cette contamination ne peut pas être évaluée sur une base quantitative. Au lieu d'utiliser des instruments dont l'étalonnage est spécifique à un nucléide, il peut être nécessaire d'utiliser des instruments spécialement conçus à cet effet.

Cependant, il peut exister certaines situations (contamination d'un conteneur de transport de combustible, par exemple) où le radionucléide ou le mélange de radionucléides peut être clairement caractérisé. Une évaluation de la contamination de surface allant au-delà d'une pure évaluation qualitative de la contamination de surface fixée et non fixée peut alors être requise. En outre, sur la base des exigences exposées dans les réglementations nationales et dans les conventions internationales, il convient de comparer une activité surfacique de la contamination de surface mesurée à des valeurs indicatives ou des limites de contamination de surface.

Les valeurs indicatives de contamination de surface sont spécifiques aux radionucléides et peuvent donc nécessiter un étalonnage spécifique complexe des radionucléides de l'équipement de mesure. L'assurance qualité de l'étalonnage est cruciale pour éviter une non-détection (c'est-à-dire les erreurs de décision de type II) conduisant à supposer, à tort, la conformité aux valeurs indicatives ou aux limites données de contamination de surface. L'évaluation des surfaces contaminées par un mélange de radionucléides dont les rapports sont connus nécessite des facteurs d'étalonnage respectivement proportionnels.

L'ISO 7503 porte sur le mesurage et l'estimation des niveaux de radioactivité. Elle ne donne aucun conseil sur les techniques de déclassement, de planification et de surveillance.

La contamination de surface est spécifiée en termes d'activité surfacique et les limites sont fondées sur les recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (ICRP 103).

La présente partie de l'ISO 7503 traite d'une méthodologie d'étalonnage spécifique aux nucléides qui intègre la correction des sommations. [L'Annexe A](#) fournit des méthodes d'étalonnage qui sont simplifiées compte tenu du traitement des données d'émission des radionucléides.

# Sample Document

get full document from [standards.iteh.ai](https://standards.iteh.ai)

# Mesurage de la radioactivité — Mesurage et évaluation de la contamination de surface —

## Partie 3: Étalonnage de l'appareillage

### 1 Domaine d'application

L'ISO 7503 et l'ISO 8769 s'adressent aux personnes chargées de déterminer la radioactivité présente sur des surfaces solides.

La présente partie de l'ISO 7503 s'applique à l'évaluation de la contamination des surfaces en termes d'activité surfacique, par des méthodes de mesure directe et indirecte, et traite des aspects complexes de l'étalonnage des instruments.

La présente partie de l'ISO 7503 est applicable aux surfaces bien définies, telles que celles des équipements et des installations, des conteneurs de matières radioactives, des sources scellées et des bâtiments ou des sols.

La présente partie de l'ISO 7503 peut être utilisée pour le contrôle en laboratoire et des équipements/installations ainsi que pour les activités de réhabilitation et de surveillance visant à établir la conformité aux critères de libération.

La présente partie de l'ISO 7503 s'adresse également:

- aux laboratoires d'étalonnage ou aux institutions manipulant des radionucléides à caractéristiques d'émission complexes ou des radionucléides pour lesquels aucune source d'étalonnage de référence n'est disponible;
- aux institutions chargées d'évaluer les contaminations de surface constituées d'un mélange de radionucléides;
- aux institutions/autorités chargées du contrôle des transports de matières nucléaires ou de la déclassification des matériels/équipements conformément aux valeurs indicatives des législations nationales ou aux limites des conventions internationales.

La présente partie de l'ISO 7503 ne s'applique pas à la contamination de la peau, des vêtements ou des matériaux en vrac (gravier, par exemple).

**NOTE** L'évaluation directe de la contamination de surface par les émetteurs alpha, bêta et photoniques est traitée dans l'ISO 7503-1. La méthode d'essai par frottis qui utilise des échantillons pour l'évaluation de la contamination des surfaces radioactives est traitée dans l'ISO 7503-2.

### 2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à l'application 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 7503-1, *Mesurage de la radioactivité — Mesurage et évaluation de la contamination de surface — Partie 1: Principes généraux*

ISO 7503-2, *Mesurage de la radioactivité — Mesurage et évaluation de la contamination de surface — Partie 2: Méthode d'essai utilisant des échantillons d'essai de frottis*

ISO 8769, *Sources de référence — Étalonnage des contrôleurs de contamination de surface — Émetteurs alpha, bêta et photoniques*

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

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

IEC 60325, *Instrumentation pour la radioprotection — Contaminamètres et moniteurs de contamination alpha, bêta et alpha/bêta (énergie des bêta >60 keV)*

### 3 Termes, définitions, symboles et abréviations

#### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans les ISO 7503-1 et ISO 7503-2 s'appliquent ainsi que les suivants.

##### 3.1.1

##### **probabilité d'émission d'un radionucléide**

rapport entre le nombre de particules d'un type donné et d'énergie supérieure à une énergie donnée ou le nombre de photons créés par unité de temps par un radionucléide donné, et le nombre de désintégrations de ce radionucléide par unité de temps

##### 3.1.2

##### **facteur d'émergence d'une source**

rapport entre le nombre de particules d'un type donné ou le nombre de photons créés ou libérés dans la source (pour une source mince) ou dans l'épaisseur de sa couche de saturation (pour une source épaisse) par unité de temps, et le nombre de particules du même type et d'énergie supérieure à une énergie donnée ou le nombre de photons sortant de la face avant d'une source ou de sa fenêtre par unité de temps (émission de surface)

##### 3.1.3

##### **rendement de la source**

rapport entre le nombre de particules d'un type donné et d'énergie supérieure à une énergie donnée ou le nombre de photons sortant de la face avant d'une source ou de sa fenêtre par unité de temps (émission de surface), et le nombre de particules du même type ou le nombre de photons créés ou libérés dans la source (pour une source mince) ou dans l'épaisseur de sa couche de saturation (pour une source épaisse) par unité de temps

#### 3.2 Symboles et abréviations

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 7503, les symboles de l'ISO 7503-1 et de l'ISO 7503-2 s'appliquent ainsi que les suivants.

$p_e$	Probabilité de sortie d'une particule de la surface
$p_c$	Probabilité de sortie d'une particule de la surface d'une source d'étalonnage
$P$	Inverse de la probabilité de sortie d'une particule de la surface
$E_{i,j}$	Facteur d'émergence d'une source pour une énergie ou une région d'énergie $i$ donnée et pour le type de rayonnement $j$ (rayonnement alpha, bêta ou photonique)

$a_i$	Composante $i$ de la voie de désintégration du radionucléide
$\varepsilon_{i,j}$	Rendement de l'instrument pour une énergie ou une région d'énergie $i$ donnée et pour le type de rayonnement $j$ (rayonnement alpha, bêta ou photonique) en $s^{-1}/s^{-1}$
$k_i$	Abondance de la voie de désintégration du radionucléide $i$
$C(A)_n$	Facteur d'étalonnage en activité par la méthode directe pour le radionucléide $n$ en $(Bq \cdot cm^{-2})/s^{-1}$
$S_G$	Surface active de la source d'étalonnage égale à la surface de moyennage pour la valeur indicative de contamination de surface en $cm^2$
$\eta_{i,j}$	Somme des données d'intensité d'émission pour une région d'énergie $i$ donnée et pour le type de rayonnement $j$ (rayonnement alpha, bêta ou photonique)
$G_n$	Valeur indicative de la contamination de surface spécifique aux radionucléides du radionucléide $n$ en $Bq \cdot cm^{-2}$
$r_{G,n}$	Taux de comptage net de l'instrument équivalent à la valeur indicative de la contamination de surface spécifique aux radionucléides $G_n$ pour un radionucléide $n$ en $s^{-1}$
$M_{G,n}$	Multiple de la valeur indicative de la contamination de surface $G_n$
$E_{\beta,max}$	Énergie maximale des rayonnements bêta, en MeV
$P_d$	Probabilité de détection d'une cascade de désintégrations à $n$ étapes par un contrôleur de contamination de surface
$A_{s,n}$	Activité surfacique de la contamination fixée et non fixée d'un radionucléide $n$ , en $Bq \cdot cm^{-2}$
$C(A)_m$	Facteur d'étalonnage en activité pour la méthode directe pour un mélange de radionucléides $m$ donné dont la contribution des radionucléides au mélange est connue, en $(Bq \cdot cm^{-2})/s^{-1}$
$G_m$	Valeur indicative de la contamination de surface pour un mélange de radionucléides $m$ donné dont la contribution des radionucléides au mélange est connue, en $Bq \cdot cm^{-2}$
$f_n$	Fraction du radionucléide $n$ dans le mélange de radionucléides
$A_{s,m}$	Activité surfacique de la contamination fixée et non fixée d'un mélange de radionucléides $m$ , en $Bq \cdot cm^{-2}$
$r_{G,m}$	Taux de comptage net de l'instrument équivalent à la valeur indicative de la contamination de surface $G_m$ en $s^{-1}$
$M_{G,m}$	Multiple de la valeur indicative de la contamination de surface $G_m$
$C(A)_n^{ind}$	Facteur d'étalonnage en activité par la méthode indirecte pour un radionucléide $n$ donné, en $(Bq \cdot cm^{-2})/s^{-1}$
$L_n$	Limite de contamination de surface spécifique aux radionucléides en $Bq \cdot cm^{-2}$
$r_{L,n}$	Taux de comptage net de l'instrument équivalent à la limite de contamination de surface $L_n$ en $s^{-1}$
$C(A)_m^{ind}$	Facteur d'étalonnage en activité pour la méthode indirecte pour un mélange de radionucléides $m$ donné dont la contribution des radionucléides au mélange est connue, en $(Bq \cdot cm^{-2})/s^{-1}$

#### 4 Méthodes d'évaluation de la contamination de surface

L'applicabilité et la fiabilité d'un mesurage direct ou d'une évaluation indirecte de la contamination de surface dépendent fortement des circonstances particulières [par exemple, les formes physique

et chimique de la contamination, l'adhérence de la contamination (fixée ou non fixée) sur la surface, l'accessibilité de la surface pour les mesurages ou la présence de champs de rayonnement parasites].

Le mesurage direct est utilisé lorsque la surface est facilement accessible, raisonnablement propre et lorsqu'aucun rayonnement parasite, tel qu'un bruit de fond élevé, n'est présent. Le mesurage direct sert à établir la présence des contaminations fixée et non fixée.

L'évaluation directe de la contamination de surface est traitée dans l'ISO 7503-1.

L'évaluation indirecte de la contamination de surface est plus généralement applicable lorsque les surfaces ne sont pas facilement accessibles en raison de leur emplacement ou de leur configuration complexe, lorsque les contaminamètres sont perturbés par des champs de rayonnement parasites, ou lorsqu'aucune méthode de mesure direct n'est disponible avec une instrumentation normalisée (tritium, par exemple). Par ailleurs, la méthode indirecte ne peut pas évaluer la contamination fixée et, étant donné l'incertitude associée au rendement du frottis, l'application de cette méthode entraîne des estimations conservatives.

L'évaluation indirecte de la contamination de surface est traitée dans l'ISO 7503-2.

Le mesurage direct et l'évaluation indirecte de la contamination de surface engendrent de nombreuses imperfections et, dans de nombreux cas, l'utilisation en parallèle des deux méthodes peut produire des résultats qui permettent d'atteindre les objectifs de l'évaluation de la meilleure façon possible.

## 5 Principale méthodologie d'étalonnage direct incluant la correction des sommations

### 5.1 Généralités

L'objectif de [l'Article 5](#) est de clarifier l'interprétation des mesurages de contamination de surface effectués avec des instruments. Malgré la simplicité de ces mesurages, les normes nationales et internationales et les brochures des fabricants utilisent une terminologie qui peut prêter à confusion. Une mauvaise interprétation de la terminologie utilisée peut conduire à des erreurs dans les mesurages rapportés ou à la sélection d'un instrument inadapté.

Le [paragraphe 5.2](#) débute par les principes d'étalonnage de base, identifie les hypothèses formulées et utilise cette approche pour montrer les différences entre les paramètres utilisés pour décrire la réponse de l'instrument.

Le facteur  $P$ , qui reflète la nature de la surface surveillée est présenté au [5.3](#) et détaillé au [5.4](#).

Les étalonnages utilisant des sources d'étalonnage conformes à l'ISO 8769 permettent de caractériser la réponse de l'instrument en fonction de l'énergie, en termes de réponse par émission, sur un domaine d'énergie étendu ([5.5.1](#)). Cette méthode permet à son tour d'interpoler les réponses pour les différentes émissions associées à un radionucléide particulier. Si chacune de ces réponses à l'émission est ensuite modifiée par le facteur  $P$  ([5.4](#)), elles peuvent être combinées pour obtenir un facteur de réponse de l'instrument pour cette combinaison de radionucléide/surface en termes de réponse par Bq cm<sup>-2</sup> ([5.5.3](#)).

### 5.2 Étalonnage pour les radionucléides à schémas de désintégration à émission unique

Dans les paragraphes suivants, on suppose que le radionucléide considéré émet une seule particule par désintégration (par exemple un émetteur bêta pur qui se désintègre directement pour atteindre l'état fondamental du radionucléide de filiation).

Si un détecteur infiniment mince d'un contrôleur idéal ayant une surface effective de sonde  $S_p$  était directement placé sur la surface surveillée, le détecteur ne détecterait que les particules de la surface directement située sous l'instrument (c'est-à-dire aucun effet de bord). La probabilité de sortie d'une particule de la surface est donnée par  $p_e$  et chaque particule entrant en collision avec l'instrument est

détectée avec un rendement  $\varepsilon$  qui, pour simplifier l'exposé, est supposé indépendant de l'énergie de la particule.

Pour étalonner le contrôleur idéal, ce dernier est placé sur une source d'étalonnage dont le taux d'émission de surface  $R_c$  et la surface active  $S_c$  sont connus (l'aire est plus grande que la surface de la fenêtre du détecteur). En supposant que le taux de comptage du bruit de fond est nul, le taux de comptage observé est:

$$\rho_c = \varepsilon \cdot \frac{R_c}{S_c} \cdot S_p \quad (1)$$

Si l'activité de la source d'étalonnage est  $A_c$ , on peut voir que  $R_c = A_c \cdot p_c$  et la formule devient:

$$\rho_c = \varepsilon \cdot \frac{A_c \cdot p_c}{S_c} \cdot S_p \quad (2)$$

Si l'instrument est à présent placé sur une surface qui est uniformément contaminée (dont l'aire est plus grande que la surface du détecteur) par le même radionucléide que la source d'étalonnage, le taux de comptage observé est:

$$\rho' = \varepsilon \cdot \frac{R'}{S'} \cdot S_p \quad (3)$$

où les termes primes se rapportent à la surface contaminée.

Le taux d'émission surfacique de la surface contaminée est donné par:

$$\frac{R'}{S'} = \rho' \cdot \left( \frac{A_c}{S_c} \right) \cdot \left( \frac{p_c}{\rho_c} \right) \quad (4)$$

En supposant que l'activité sur la surface contaminée est liée à son taux d'émission mesuré par la relation  $R' = A_s' \cdot p_e'$ , il est évident que:

$$\frac{A_s'}{S'} = \rho' \cdot \frac{1}{p_e'} \cdot \left( \frac{A_c}{S_c} \right) \cdot \left( \frac{p_c}{\rho_c} \right) \quad (5)$$

On peut voir que les formules ci-dessus comportent des termes qui décrivent l'instrument ( $\varepsilon$  et  $S_p$ ) (voir [Tableau 1](#)) et un terme qui décrit la surface surveillée ( $p_e$ ) (voir [Tableau 2](#)). Ce dernier terme est associé au «facteur  $P$ » (voir [5.3](#)).

Les grandeurs dans les formules ci-dessus peuvent être combinées pour obtenir un paramètre qui décrit l'instrument, le facteur de réponse de l'instrument, et un paramètre qui décrit la surface surveillée. Les facteurs de réponse des instruments ont été définis de différentes manières dans le temps et sont présentés dans le [Tableau 1](#) ci-dessous.

Trois des définitions sont indépendantes de la nature de la surface de la source d'étalonnage, à condition que les facteurs de réponse soient déterminés en utilisant des sources d'étalonnage qui n'émettent qu'une seule particule par désintégration. Cependant, la réponse de l'instrument liée à l'activité  $I(A)$  et le facteur d'étalonnage lié à l'activité  $C(A)$  dépendent à la fois des caractéristiques de l'instrument et de la nature de la surface de la source d'étalonnage (décrites par  $p_c$ ).

**Tableau 1 — Grandeurs qui décrivent l'instrument**

Définition	Symbole	Formule	Description
Rendement de l'instrument	$\varepsilon$	$\varepsilon = \rho_c \cdot \left( \frac{S_c}{R_c} \right) \cdot \left( \frac{1}{S_p} \right)$	Rendement de l'instrument = taux de comptage observé par le taux d'émission de surface sous la fenêtre du détecteur
Réponse de l'instrument (émission)	$I(E)$	$I(E) = \varepsilon \cdot S_p = \rho_c \cdot \left( \frac{S_c}{R_c} \right)$	Rendement de l'instrument multiplié par la surface de la fenêtre = taux de comptage observé par le taux d'émission de surface par unité de surface
Réponse de l'instrument (activité)	$I(A)$	$I(A) = \varepsilon \cdot S_p \cdot p_c = \rho_c \cdot \left( \frac{S_c}{R_c} \right) \cdot p_c$	Rendement de l'instrument multiplié par la surface de la fenêtre et par la probabilité de sortie d'une particule ou d'un photon par la surface de la source = taux de comptage observé par Bq par unité de surface
Facteur d'étalonnage (émission)	$C(E)$	$C(E) = \frac{1}{\varepsilon \cdot S_p} = \frac{1}{\rho_c} \cdot \left( \frac{R_c}{S_c} \right)$	Inverse du rendement de l'instrument multiplié par la surface de la fenêtre
Facteur d'étalonnage (activité)	$C(A)$	$C(A) = \frac{1}{\varepsilon \cdot S_p \cdot p_c} = \frac{1}{\rho_c} \cdot \left( \frac{R_c}{S_c} \right) \cdot \frac{1}{p_c}$	Inverse du rendement de l'instrument multiplié par la surface de la fenêtre et par la probabilité de sortie d'une particule par la surface de la source

**Tableau 2 — Grandeurs qui décrivent la surface**

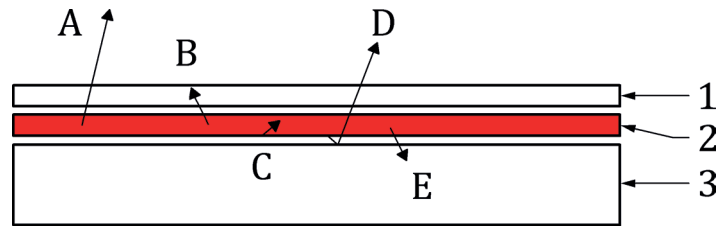
Grandeur	Symbole	Description
Taux d'émission de surface de la source d'étalonnage	$R_c$	Taux d'émission de surface des particules ou photons
Facteur $P$	$P = \left( \frac{1}{p_e} \right)$	Inverse de la probabilité d'émission des particules

### 5.3 Facteur $P$ pour les radionucléides à schémas de désintégration non complexes

Le concept du facteur  $P$  a été initialement introduit lors de l'élaboration de la Référence [3].

NOTE Dans la Référence [3], le facteur  $P$  a été conçu pour convertir un mesurage du taux d'émission d'une source d'étalonnage mono-énergétique conforme (à l'ISO 8769) en une mesure d'activité. Comme ces sources d'étalonnage sont des radionucléides individuels avec pratiquement une seule émission ayant une probabilité de 100 %, le facteur  $P$  pourrait être utilisé très simplement pour effectuer cette conversion. Le facteur  $P$  est simplement l'inverse de  $p_e$  (Tableau 2). La définition d'origine, «Un facteur  $P$  est le rapport entre l'activité surfacique d'une source et son taux d'émission de surface par unité de surface» était correcte - mais uniquement pour les sources d'étalonnage ISO 8769 à émission unique.

Pour estimer le facteur  $P$ , l'illustration de la Figure 1 indique les différents processus d'émission à partir d'une surface contaminée.



### Légende

- A particule/photon émis par la surface
- B particule/photon absorbé dans la saleté superficielle (voir Tableaux 3 et 4)
- C particule/photon absorbé dans la couche active (voir Tableaux 3 et 4)
- D particule/photon rétrodiffusé par le substrat (voir Tableaux 3 et 4)
- E particule/photon absorbé dans le substrat
- 1 saleté superficielle
- 2 couche active
- 3 substrat

**Figure 1 — Schéma des processus d'émission à partir de la surface d'une source**

L'ampleur de l'effet des composantes B, C et D du facteur  $P$  est indiquée dans les Tableaux 3 et 4. Les Tableaux 3 et 4 sont basés sur la Référence [4].

**Tableau 3 — Variation des effets d'atténuation en fonction du type d'émission et de l'énergie (à titre illustratif uniquement)**

Effet	Composante du facteur $P$	Type de particule affecté	Ampleur de l'effet
Rétrodiffusion	D	Bêta haute énergie	Augmente l'émission de surface de 10 % à 20 % pour les particules bêta haute énergie sur les supports à numéro atomique élevé (acier, par exemple)
Auto-absorption	C	Alpha	Réduit l'émission de surface d'un facteur 2 ou supérieur
		Bêta basse énergie (0,15 à 0,4) MeV	Même les dépôts très minces entraînent une réduction considérable des taux d'émission de surface
		Bêta haute énergie	Émission de surface non affectée pour les dépôts minces (<1 mg cm <sup>-2</sup> )
Revêtements de surface	B (voir Tableau 4)	Alpha	Couche de 5 mg cm <sup>-2</sup> d'épaisseur: absorbe la totalité du rayonnement $\alpha$
		Bêta basse énergie	Couche de 5 mg cm <sup>-2</sup> d'épaisseur: réduit l'émission de surface d'un facteur 2 ou supérieur
		Bêta haute énergie	Couche de 5 mg cm <sup>-2</sup> d'épaisseur: réduit l'émission de surface de 30 %
Rayonnement parasite			Interférences possibles avec les gamma, effet normalement modéré (généralement 1 % pour le <sup>137</sup> Cs/ <sup>60</sup> Co)

**Tableau 4 — Facteurs de transmission en pourcentage pour les revêtements de surface (à titre illustratif uniquement)**

Revêtement de surface	Masse surfacique en mg cm <sup>-2</sup>	Radionucléide type et type de rayonnement				
		<sup>238</sup> Pu Alpha	<sup>14</sup> C Bêta mou	<sup>36</sup> Cl Bêta moyen	<sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y Bêta moyen + dur	<sup>55</sup> Fe Photon 5,9 keV
		Facteur de transmission en %				
Peinture de voiture	2,6	10	50	90	95	30
Peinture antirouille	4,0	0	30	90	95	35
Vernis-laque	2,4	10	50	90	95	50
Vernis pour bois	1,4	30	60	95	100	70
Encaustique pour meubles	0,1	90	95	100	100	95
Huile appliquée	1,3	30	70	95	100	70
Huile essuyée	0,14	90	95	100	100	95
Graisse appliquée	1,8	20	60	95	100	60

NOTE Les peintures sont appliquées en une seule couche. L'encaustique est appliquée en deux couches. Tous les revêtements sont appliqués conformément aux instructions du fabricant.

La situation idéale suppose que la contamination se trouve dans une couche infiniment mince et qu'il n'existe aucune diffusion. Pour ces hypothèses, exactement la moitié des émissions résultant d'une désintégration radioactive sortiront et pourront potentiellement pénétrer dans le détecteur. Pour les cas où il n'y a qu'une seule émission par désintégration, le facteur  $P$  a une valeur de 2 et l'activité surfacique est égale au double du taux d'émission surfacique obtenu par la réponse du détecteur.

Le [paragraphe 5.4](#) se concentre sur le calcul du facteur  $P$  pour les radionucléides à schémas de désintégration complexes.

#### 5.4 Facteurs $P$ pour les radionucléides à schémas de désintégration complexes

La majorité des radionucléides ne présentent pas de schémas de désintégration simples et peuvent avoir plusieurs branches du parent jusqu'à l'état fondamental incluant l'émission de photon(s), d'électrons de conversion et des émissions secondaires telles que des rayons X et des électrons Auger. Pour tout événement de désintégration unique, il est également possible que plusieurs émissions soient produites, par exemple une particule bêta suivie d'un rayon gamma.

L'instrument peut détecter tout ou partie des émissions résultant d'une seule désintégration mais un seul événement est enregistré car les émissions se produisent en même temps. Il s'agit de la principale raison pour laquelle l'interprétation des réponses des instruments de mesure de contamination de surface est complexe car elle implique qu'il est incorrect de totaliser les probabilités de détection pour toutes les émissions sans correction des sommations.

Lors de l'estimation du facteur d'étalonnage (en Bq·cm<sup>-2</sup>/s<sup>-1</sup>) approprié à un radionucléide particulier, il est nécessaire de tenir compte des probabilités des différentes émissions, de l'effet de la surface sur chaque émission séparée et de la probabilité de détection en coïncidence de tout ou partie des émissions issues d'une seule désintégration. L'estimation d'un facteur de réponse approprié de l'instrument pour la plupart des radionucléides est donc un problème complexe car il n'est pas possible d'appliquer le même facteur  $P$  pour chaque émission survenant lors de la désintégration et la définition simpliste du facteur  $P$  s'avère donc inadaptée dans ce cas.

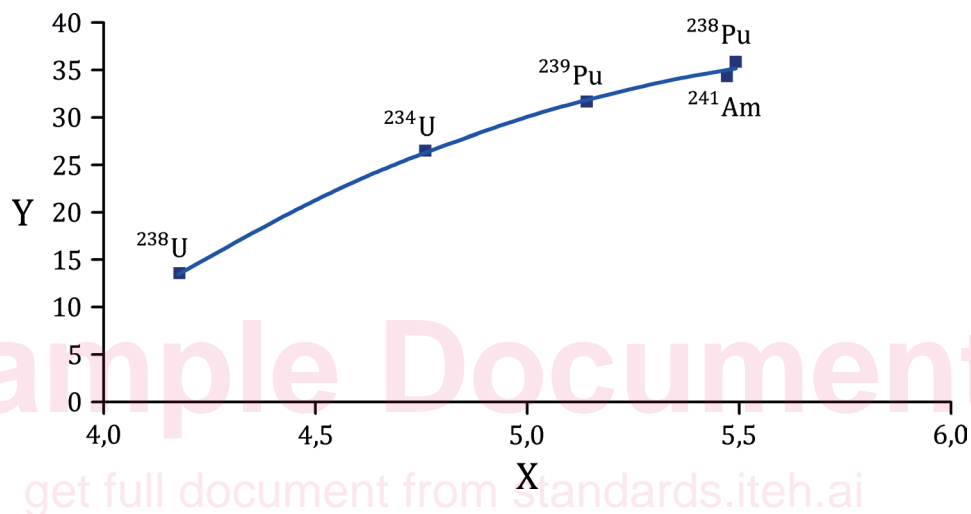
Dans la pratique, des incertitudes élevées (dizaines de pour-cent) sur le mesurage peuvent normalement être tolérées car les mesurages peuvent n'être destinés qu'aux dépistages ou à une levée de doute. Cependant, il faut encore comprendre les processus physiques sous-jacents et les algorithmes d'estimation afin d'éviter les erreurs grossières. La discussion suivante est destinée à exposer une approche générique qui place ces estimations sur des bases saines.

Un facteur supplémentaire («facteur d'émergence») doit être introduit pour caractériser le rapport de la génération d'émissions individuelles sur la fraction de ces émissions qui sortent de la surface. Supposons que ce facteur soit défini par  $E_{i,j}$  pour l'énergie  $i$  concernée et pour l'émission du rayonnement alpha, bêta ou gamma  $j$ . Chaque émission peut ensuite avoir la valeur estimée appropriée de  $E_{i,j}$ , en combinaison avec la probabilité d'émission par désintégration puis les effets combinés de toutes les émissions de la désintégration en tenant compte des détections potentiellement en coïncidence.

## 5.5 Estimation générique de la réponse de l'instrument

### 5.5.1 Détermination de la réponse énergétique de l'instrument

La première étape consiste à déterminer le rendement de l'instrument (5.2) en fonction de l'énergie pour les types d'émission (alpha, bêta et photonique). Des exemples de valeurs de rendement d'instruments sont donnés sur les Figures 2, 3 et 4.



#### Légende

- X énergie alpha (MeV)  
Y rendement de l'instrument (%)

**Figure 2 — Énergie alpha en fonction du rendement de l'instrument (à titre illustrative uniquement)**