

Troisième édition  
2021-06

---

---

---

**Qualité de l'eau — Radionucléides  
émetteurs gamma — Méthode d'essai  
par spectrométrie gamma à haute  
résolution**

*Water quality — Gamma-ray emitting radionuclides — Test method  
using high resolution gamma-ray spectrometry*

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 10703:2021](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/64a798f4-2a59-4a6c-9c5d-95250efe6c1d/iso-10703-2021>



Numéro de référence  
ISO 10703:2021(F)

© ISO 2021

**iTeh Standards**  
**(<https://standards.iteh.ai>)**  
**Document Preview**

[ISO 10703:2021](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/64a798f4-2a59-4a6c-9c5d-95250efe6c1d/iso-10703-2021>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2021

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  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

# Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b>	<b>v</b>
<b>Introduction</b>	<b>vii</b>
<b>1 Domaine d'application</b>	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b>	<b>1</b>
<b>3 Termes et définitions</b>	<b>2</b>
<b>4 Symboles</b>	<b>4</b>
<b>5 Principe</b>	<b>4</b>
<b>6 Sources de référence</b>	<b>5</b>
6.1 Source(s) pour l'étalonnage en énergie	5
6.2 Source(s) de référence pour l'étalonnage en rendement	5
6.2.1 Généralités	5
6.2.2 Sources de référence pour les systèmes de laboratoire	5
6.2.3 Sources de référence utilisées avec les méthodes numériques	6
<b>7 Réactifs</b>	<b>6</b>
<b>8 Équipement de spectrométrie gamma</b>	<b>6</b>
8.1 Description générale	6
8.2 Types de détecteurs	7
8.3 Alimentation haute tension	7
8.4 Préamplificateur	7
8.5 Cryostat ou refroidisseur électrique	7
8.6 Blindage	8
8.7 Électronique d'acquisition analogique ou numérique	8
8.7.1 Généralités	8
8.7.2 Électronique analogique (CNA)	8
8.7.3 Système électronique numérique de traitement des signaux	9
8.8 Ordinateur, avec logiciels et matériels périphériques associés	9
<b>9 Données nucléaires</b>	<b>9</b>
<b>10 Échantillonnage</b>	<b>10</b>
<b>11 Mode opératoire</b>	<b>10</b>
11.1 Préparation de l'échantillon	10
11.1.1 Généralités	10
11.1.2 Mesurage direct sans préparation	10
11.1.3 Évaporation sans rétention d'iode	11
11.1.4 Évaporation avec rétention d'iode	11
11.2 Étalonnage	11
11.2.1 Généralités	11
11.2.2 Étalonnage en énergie	11
11.2.3 Étalonnage en rendement	12
<b>12 Expression des résultats</b>	<b>14</b>
12.1 Calcul de l'activité volumique	14
12.1.1 Généralités	14
12.1.2 Corrections du temps mort et des empilements (voir ISO 20042)	14
12.1.3 Corrections de décroissance	15
12.1.4 Sommation de coïncidence vraie	15
12.2 Incertitude-type	16
12.3 Seuil de décision	17
12.4 Limite de détection	17
12.5 Limites des intervalles élargis	17
12.5.1 Limites de l'intervalle élargi probabilistiquement symétrique	17

12.5.2	Intervalle élargi le plus court.....	18
12.6	Corrections des interférences dues à d'autres radionucléides et du bruit de fond.....	18
12.6.1	Généralités .....	18
12.6.2	Interférence due à d'autres radionucléides.....	18
12.6.3	Interférence du bruit de fond.....	19
<b>13</b>	<b>Rapport d'essai.....</b>	<b>20</b>
<b>Annexe A (informative) Exemple de solution d'entraîneur pouvant être ajoutée à l'échantillon d'eau lorsque les eaux résiduaires d'une centrale nucléaire sont analysées.....</b>		<b>22</b>
<b>Annexe B (informative) Sommation de coïncidence vraie.....</b>		<b>23</b>
<b>Annexe C (informative) Calcul de l'activité volumique mesurée par spectrométrie gamma utilisant une soustraction de bruit de fond linéaire (pic sans interférence).....</b>		<b>25</b>
<b>Bibliographie .....</b>		<b>27</b>

**iTeh Standards**  
**(<https://standards.iteh.ai>)**  
**Document Preview**

[ISO 10703:2021](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/64a798f4-2a59-4a6c-9c5d-95250efe6c1d/iso-10703-2021>

## 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 rédigées 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, de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute autre 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.html](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 147, *Qualité de l'eau*, sous-comité SC 3, *Mesurages de la radioactivité*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 230, *Analyse de l'eau*, du Comité européen de normalisation (CEN), conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 10703:2007), qui a fait l'objet d'une révision technique.

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

- nouvelle Introduction commune;
- domaine d'application élargi aux situations d'urgence et aux eaux usées, limite supérieure du temps mort augmentée à 10 %;
- conditions de stockage d'échantillons conformes à l'ISO 5667-3 (voir [Article 10](#));
- modification de la source de référence pour l'étalonnage (voir [6.2](#));
- détermination du rendement d'étalonnage par la méthode de Monte Carlo (voir [11.2.3](#));
- révision complète des empilements d'impulsions et du temps mort;
- révision complète du paragraphe sur la sommation de coïncidence vraie (voir [12.1.4](#));
- ajout du facteur de correction pour le temps mort et l'empilement (voir [12.1.2](#));
- introduction de l'intervalle élargi le plus court conformément à la nouvelle série ISO 11929 (voir [12.5.2](#));

- modification du rapport d'essai (voir [Article 13](#)).

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/members.html](http://www.iso.org/members.html).

# iTeh Standards (<https://standards.iteh.ai>) Document Preview

[ISO 10703:2021](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/64a798f4-2a59-4a6c-9c5d-95250efe6c1d/iso-10703-2021>

## Introduction

La radioactivité provenant de sources d'origine naturelle et anthropique est présente partout dans l'environnement. Par conséquent, les masses d'eau (par exemple eaux de surface, eaux souterraines, eaux de mer) peuvent contenir des radionucléides d'origine naturelle, d'origine anthropique ou les deux:

- Les radionucléides naturels, y compris  $^{40}\text{K}$ ,  $^{3}\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ , et ceux provenant des chaînes de désintégration du thorium et de l'uranium, en particulier  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  et  $^{210}\text{Pb}$ , peuvent se trouver dans l'eau pour des raisons naturelles (par exemple, désorption par le sol et lessivage par les eaux pluviales) ou ils peuvent être libérés par des processus technologiques impliquant des matériaux radioactifs existant à l'état naturel (par exemple, extraction et traitement de sables minéraux ou production et utilisation d'engrais phosphatés).
- Les radionucléides artificiels, tels que les éléments transuranium (par exemple américium, plutonium, neptunium et curium),  $^{3}\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  et les radionucléides émetteurs gamma peuvent aussi se trouver dans les eaux naturelles. De petites quantités de ces radionucléides sont déversées dans l'environnement par les installations du cycle de combustible nucléaire en conséquence de leur rejet périodique autorisé. Certains de ces radionucléides utilisés dans le cadre d'applications médicales et industrielles sont également rejetés dans l'environnement suite à leur utilisation. Les radionucléides anthropiques peuvent également se trouver dans les eaux du fait de contaminations par retombées d'éléments radioactifs rejetés dans l'atmosphère lors de l'explosion de dispositifs nucléaires ou lors d'accidents nucléaires, tels que ceux de Tchernobyl et de Fukushima.

L'activité volumique des radionucléides dans les masses d'eau est variable en fonction des caractéristiques géologiques et des conditions climatiques locales, et peut être renforcée localement et dans le temps par les rejets d'installations nucléaires dans des situations d'exposition planifiée, d'exposition d'urgence et d'exposition existante<sup>[7]</sup>. L'eau potable peut alors contenir des radionucléides à des valeurs d'activité volumique représentant potentiellement un risque sanitaire pour l'Homme.

Les radionucléides présents dans les effluents liquides sont habituellement contrôlés avant d'être déversés dans l'environnement<sup>[8]</sup>. La radioactivité des masses d'eau et des eaux potables est surveillée conformément aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)<sup>[9]</sup> de manière à ce que les actions appropriées puissent être conduites pour garantir l'absence d'effets indésirables sur la santé du public. Conformément à ces recommandations internationales, les législations nationales spécifient généralement des limites de concentration en radionucléides autorisées pour les effluents liquides déversés dans l'environnement ainsi que des limites indicatives concernant les teneurs en radionucléides dans les masses d'eau et les eaux potables dans les situations d'exposition planifiées, existantes et d'urgence. La conformité à ces limites peut être évaluée à partir des résultats de mesure et des incertitudes qui y sont associées, comme spécifié par le Guide 98-3 de l'ISO/IEC et l'ISO 5667-20.

Selon la situation d'exposition, différentes limites et différents niveaux indicatifs entraîneront une action pour réduire le risque sanitaire. À titre d'exemple, durant une situation planifiée ou existante, les lignes directrices de l'OMS concernant la limite indicative dans l'eau potable sont de 10 Bq·l<sup>-1</sup> pour l'activité volumique de  $^{134}/^{137}\text{Cs}$  et  $^{131}\text{I}$ , 1 Bq·l<sup>-1</sup> pour  $^{241}\text{Am}$  et 0,1 Bq·l<sup>-1</sup> pour  $^{210}\text{Pb}$ .

**NOTE 1** La limite indicative correspond à l'activité volumique pour une consommation de 2 l/j d'eau potable pendant un an, aboutissant à une dose efficace de 0,1 mSv/a pour les personnes du public. Cette dose efficace présente un niveau de risque très faible qui ne devrait pas entraîner d'effets indésirables pour la santé détectables<sup>[9]</sup>.

En situation d'urgence nucléaire, les limites directives du Codex de l'OMS<sup>[10]</sup> indiquent que l'activité volumique ne pourrait pas être supérieure à 1 000 Bq·kg<sup>-1</sup> pour  $^{134}/^{137}\text{Cs}$ , 100 Bq·kg<sup>-1</sup> pour  $^{131}\text{I}$  et 1 Bq·kg<sup>-1</sup> pour  $^{241}\text{Am}$ . Pour les aliments autres que les aliments pour nourrissons, l'activité volumique ne pourrait pas être supérieure à 1 000 Bq·kg<sup>-1</sup> pour  $^{134}/^{137}\text{Cs}$ , 100 Bq·kg<sup>-1</sup> pour  $^{131}\text{I}$  et 10 Bq·kg<sup>-1</sup> pour  $^{241}\text{Am}$ .

**NOTE 2** Les limites indicatives du Codex s'appliquent aux radionucléides contenus dans les aliments destinés à la consommation humaine et commercialisés internationalement, qui ont été contaminés suite à une urgence radiologique ou nucléaire. Ces limites indicatives s'appliquent aux aliments après reconstitution ou tels que préparés pour la consommation, c'est-à-dire des aliments non séchés ou concentrés, et sont fondées sur un niveau d'exemption d'intervention de 1 mSv en un an pour le public (nourrissons et adultes)<sup>[10]</sup>.

Ainsi, il est possible d'adapter la méthode d'essai de façon à ce que les limites caractéristiques, le seuil de décision, la limite de détection et les incertitudes garantissent qu'il soit possible de vérifier que les résultats d'essai relatifs à l'activité volumique des radionucléides sont inférieurs aux limites indicatives requises par une autorité nationale soit pour des situations existantes/planifiées, soit pour une situation d'urgence<sup>[11][12]</sup>.

En général, il est possible d'ajuster les méthodes d'essai pour mesurer l'activité volumique du ou des radionucléides, soit dans les eaux usées avant stockage, soit dans les effluents liquides avant déversement dans l'environnement. Les résultats d'essai permettront à l'opérateur de l'usine/de l'installation de vérifier que les concentrations d'activité radioactive des eaux usées/des effluents liquides ne dépassent pas les limites autorisées, avant que ceux-ci ne soient rejetés.

La méthode d'essai décrite dans le présent document peut être utilisée dans des situations d'exposition planifiées, existantes et d'urgence ainsi que pour les eaux usées et les effluents liquides, avec des modifications spécifiques qui pourraient augmenter l'incertitude globale, la limite de détection et le seuil de décision.

La méthode d'essai peut être utilisée pour des échantillons d'eau après un échantillonnage, une manipulation et une préparation de l'échantillon pour essai adaptés (voir la partie pertinente de la série ISO 5667).

Le présent document a été élaboré pour répondre aux besoins des laboratoires d'essai réalisant ces mesurages, parfois requis par les autorités nationales, car les laboratoires peuvent être dans l'obligation d'obtenir une accréditation spécifique pour la réalisation de mesures de radionucléides dans des échantillons d'eau potable.

Le présent document fait partie d'un ensemble de Normes internationales relatives aux méthodes d'essai qui traitent du mesurage de l'activité volumique des radionucléides dans des échantillons d'eau.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/64a798f4-2a59-4a6c-9c5d-95250efe6c1d/iso-10703-2021>

# Qualité de l'eau — Radionucléides émetteurs gamma — Méthode d'essai par spectrométrie gamma à haute résolution

**AVERTISSEMENT** — Il convient que l'utilisateur du présent document connaisse bien les pratiques courantes de laboratoire. Le présent document n'a pas pour but de traiter de tous les problèmes de sécurité qui sont, le cas échéant, liés à son utilisation. Il incombe à l'utilisateur de ce document d'établir des pratiques appropriées en matière d'hygiène et de sécurité et de déterminer l'applicabilité des autres restrictions.

**IMPORTANT** — Il est absolument essentiel que les essais conduits conformément au présent document soient exécutés par du personnel titulaire d'une qualification appropriée.

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie une méthode de prétraitement physique et de conditionnement d'échantillons d'eau et de détermination de l'activité volumique de différents radionucléides émetteurs gamma d'énergie comprise entre 40 keV et 2 MeV, par spectrométrie gamma conformément à la méthode d'essai générique décrite dans l'ISO 20042.

La méthode d'essai est applicable à des échantillons pour essai d'eau potable, d'eau de pluie, d'eau de surface et d'eau souterraine ainsi que d'eau de refroidissement, d'eau industrielle, d'eaux usées domestiques et industrielles après échantillonnage approprié, manipulation de l'échantillon et préparation de l'échantillon pour essai (filtration si nécessaire et en tenant compte de la quantité de matières dissoutes dans l'eau). Cette méthode ne s'applique qu'aux échantillons homogènes ou aux échantillons qui sont homogènes après filtration opportune.

La limite inférieure qui peut être mesurée sans concentration de l'échantillon ou en utilisant uniquement le blindage passif du système de détection est d'environ  $5 \cdot 10^{-2}$  Bq/l pour le  $^{137}\text{Cs}$ <sup>1)</sup> à titre d'exemple. La limite supérieure de l'activité correspond à un temps mort de 10 %. Des temps morts plus élevés peuvent être utilisés mais la justesse de la correction du temps mort doit être prouvée.

En fonction de différents facteurs tels que l'énergie des rayonnements gamma et la probabilité d'émission par désintégration nucléaire, la taille et la géométrie de l'échantillon et du détecteur, le blindage, le temps de comptage et d'autres paramètres expérimentaux, il peut être nécessaire de concentrer l'échantillon par évaporation, s'il s'agit de mesurer des activités inférieures à  $5 \cdot 10^{-2}$  Bq/l. Cependant, les radionucléides volatils (par exemple, le radon et l'iode radioactif) peuvent être perdus pendant la préparation de la source.

Cette méthode est appropriée pour être appliquée aux situations d'urgence.

## 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 3696, *Eau pour laboratoire à usage analytique — Spécification et méthodes d'essai*

1) La géométrie de l'échantillon : Marinelli de 3 l ; détecteur : GE HP type N d'une efficacité relative de 55 %; temps de comptage: 18 h.

ISO 5667-1, *Qualité de l'eau — Échantillonnage — Partie 1: Recommandations relatives à la conception des programmes et des techniques d'échantillonnage*

ISO 5667-3, *Qualité de l'eau — Échantillonnage — Partie 3: Conservation et manipulation des échantillons d'eau*

ISO 5667-10, *Qualité de l'eau — Échantillonnage — Partie 10: Lignes directrices pour l'échantillonnage des eaux résiduaires*

ISO 5667-14, *Qualité de l'eau — Échantillonnage — Partie 14: Lignes directrices sur l'assurance qualité et le contrôle qualité pour l'échantillonnage et la manutention des eaux environnementales*

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

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

### **3 Termes et définitions**

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 80000-10 ainsi que les suivants 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/>

#### **3.1 blanc**

container de composition identique à celui utilisé pour l'échantillon d'eau pour essai, rempli d'eau déminéralisée

#### **3.2 temps mort**

durée au cours de l'acquisition (temps réel) de spectres pendant laquelle les impulsions ne sont ni enregistrées ni traitées

Note 1 à l'article: Le temps mort est exprimé en pourcentage, calculé comme suit: temps réel moins durée active, divisé par temps réel puis multiplié par 100.

#### **3.3 correction de temps mort**

correction à appliquer au nombre d'impulsions observées pour prendre en compte le nombre d'impulsions perdues pendant le *temps mort* (3.2)

#### **3.4 constante de désintégration**

$\lambda$   
quotient du taux auquel une population d'atomes radioactifs diminue à cause de la [décroissance radioactive](#) en fonction de la taille de cette population d'atomes radioactifs

Note 1 à l'article: Elle peut également être exprimée sous forme de quotient de  $dP$  par  $dt$ ,

$$\lambda = \frac{dP}{dt} = -\frac{1}{N} \frac{dN}{dt}$$

où

$dP$  est la probabilité qu'un noyau donné subisse une transition nucléaire spontanée à partir de cet état d'énergie dans l'intervalle de temps  $dt$ ;

$N$  est le nombre de noyaux concernés existant à l'instant  $t$ .

Note 2 à l'article: La durée de décroissance de la moitié de la population d'atomes radioactifs d'origine est appelée demi-vie. La relation entre la demi-vie,  $T_{1/2}$  et la constante de désintégration est donnée par  $T_{1/2} = \ln(2)/\lambda$ .

### 3.5

#### efficacité de comptage

rapport du nombre de photons gamma détectés dans le pic d'absorption totale sur le nombre de même espèce émis par la source de radiation dans le même laps de temps, dans les conditions de détection définies

### 3.6

#### résolution en énergie

mesure, à une énergie donnée, de la plus petite différence entre l'énergie de deux rayonnements gamma pouvant être mise en évidence à l'aide de l'appareil utilisé pour la *spectrométrie gamma* (3.10)

Note 1 à l'article: La résolution en énergie est mesurée sous forme de largeur à mi-hauteur (FWHM) du pic d'absorption.

### 3.7

#### pic d'absorption totale

pic du spectre correspondant à l'absorption totale de l'énergie des photons dans le détecteur par effet photoélectrique ou par interactions de photons consécutives à la création de paires électrons-trous (uniquement pour les photons d'énergie supérieure à 1 022 keV), à effet Compton et à l'absorption photoélectrique (<https://standards.iteh.ai>)

### 3.8

#### cascade gamma

deux ou plusieurs photons gamma différents émis successivement par un seul noyau lorsqu'il se désexcite en passant par un ou plusieurs niveaux d'énergie intermédiaires

## Document Preview

<http://3.9 standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/64a798f4-2a59-4a6c-9c5d-95250efe6c1d/iso-10703-2021>

#### rayonnement gamma

rayonnement électromagnétique émis lors d'un processus de transition nucléaire ou d'annihilation de particule

### 3.10

#### spectrométrie gamma

méthode de mesure des *rayonnements gamma* (3.9) fournissant un spectre énergétique

### 3.11

#### empilement

génération, par un spectromètre, d'impulsions résultant de l'absorption simultanée par le détecteur de particules, ou photons, provenant de la désintégration de différents noyaux

Note 1 à l'article: Ces impulsions sont alors comptabilisées comme un(e) seul(e) et unique particule ou photon dont l'énergie est soit leur énergie individuelle, soit la somme de toutes leurs énergies.

### 3.12

#### probabilité de transition

probabilité de désexcitation du noyau due à une transition spécifique à un état d'énergie donné vers un état moins énergétique ou vers l'état fondamental