

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Radiation protection instrumentation – Semi-empirical method for performance evaluation of detection and radionuclide identification –
Part 1: Performance evaluation of the instruments, featuring radionuclide identification in static mode**

**Instrumentation pour la radioprotection – Méthode semi-empirique pour l'évaluation des performances de détection et d'identification de radionucléides –
Partie 1: Evaluation de la performance des instruments avec l'identification des radionucléides en mode statique**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Radiation protection instrumentation – Semi-empirical method for performance evaluation of detection and radionuclide identification –
Part 1: Performance evaluation of the instruments, featuring radionuclide identification in static mode**

**Instrumentation pour la radioprotection – Méthode semi-empirique pour l'évaluation des performances de détection et d'identification de radionucléides –
Partie 1: Evaluation de la performance des instruments avec l'identification des radionucléides en mode statique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 13.280

ISBN 978-2-8322-4822-5

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions and abbreviated terms	7
3.1 Terms and definitions.....	7
3.2 Abbreviated terms.....	9
4 General requirements	10
5 Base material characterization and acquisition of input data	10
5.1 General.....	10
5.2 Base material characterization requirements.....	10
5.3 Base material composition table requirements	11
5.4 Raw spectra requirements	11
6 Generation of base spectra from raw spectra.....	11
6.1 General.....	11
6.2 Base spectra data element requirements	12
6.3 Sensitivity requirements.....	13
7 Distortion modelling	13
7.1 General requirements	13
7.2 Acquisition of model parameters	13
8 Generation of sample spectra	14
8.1 Scenarios	14
8.2 Group of scenarios.....	14
8.3 Sample spectra	14
9 Injection of sample spectra	14
9.1 General requirements	14
9.2 Replay software requirements.....	14
9.3 Identification report requirements.....	15
10 Data interpretation and consolidation.....	15
10.1 Data interpretation	15
10.2 Consolidated identification reports	16
11 Validation	16
11.1 General.....	16
11.2 Equivalency between measured and sample spectra.....	16
11.2.1 Requirements	16
11.2.2 Method of test.....	16
11.3 Equivalency between replay software and instrument-embedded software	16
11.3.1 Requirements	16
11.3.2 Method of test.....	17
Annex A (informative) Example base material composition table	18
Annex B (informative) Base spectra naming convention and format	19
B.1 Naming convention for base spectra	19
B.2 Example format for base spectra.....	20
Annex C (informative) Distortion modelling	21
Annex D (informative) Scenario	23

Annex E (normative) Technique for sample spectra generation	24
E.1 General.....	24
E.2 Distortion	24
E.3 Scaling-down	24
E.4 Summing-up	26
Annex F (normative) Identification report	27
Annex G (informative) Acceptable response table example	28
Annex H (informative) Guide to recommended identification report interpretation scheme	29
Annex I (informative) Consolidated identification reports	33
I.1 Example of consolidated identification report by scenario (see Table I.1)	33
I.2 Example of identification report consolidated by ability of instrument to identify a given radionuclide under changing conditions (see Table I.2)	33
Bibliography.....	35
Figure C.1 – Reference and distorted spectra	22
Figure E.1 – Scaling–down technique	25
Figure H.1 – Recommended identification results interpretation scheme	29
Table A.1 – Base material composition for base material isotopic composition.....	18
Table B.1 – Naming convention for the base spectra	19
Table I.1 – Consolidated identification report example	33
Table I.2 – Example of identification report consolidated by material	34

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – SEMI-EMPIRICAL METHOD FOR PERFORMANCE EVALUATION OF DETECTION AND RADIONUCLIDE IDENTIFICATION –

Part 1: Performance evaluation of the instruments, featuring radionuclide identification in static mode

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard 62957-1 has been prepared by subcommittee 45B: Radiation protection instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
45B/876/FDIS	45B/880/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 62957 series, published under the general title *Radiation protection instrumentation – Semi-empirical method for performance evaluation of detection and radionuclide identification*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62957-1:2017

INTRODUCTION

There are known challenges associated with the application of traditional methods¹ for the performance evaluation of instruments used for the detection and identification of radionuclides. These challenges mainly originate from test logistics and the resources required for qualification type pass/fail tests.

As an alternative approach, a semi-empirical performance evaluation method has been developed [1]². The concept of this technique, also known as injection study, is based on computerized interpretation of detection or identification reports, obtained by injection of processed data into instrument-specific replay software for detection or radionuclide identification. The method does not prohibit the use of synthetic data if experimental data is not available.

While remaining reasonably accurate, semi-empirical methods do not require significant resources for performance evaluation. In some applications, where full scope performance testing is not feasible or practical, the use of semi-empirical methods can provide reasonable confidence in the instrument performance. By no means are semi-empirical methods meant to fully replace traditional tests, but rather to complement them.

It is envisioned that this standard will comprise three parts. Part 1 of the standard is specific to the performance evaluation of radionuclide identification in static mode, i.e. when measurement geometry does not change.

Future parts of the standard will address detection and radionuclide identification in dynamic scenarios.

¹ Instrumental tests.

² Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – SEMI-EMPIRICAL METHOD FOR PERFORMANCE EVALUATION OF DETECTION AND RADIONUCLIDE IDENTIFICATION –

Part 1: Performance evaluation of the instruments, featuring radionuclide identification in static mode

1 Scope

This part of IEC 62957 specifies requirements for data preparation and data injection when using the semi-empirical method for performance evaluation of detection and radionuclide identification. This document recommends approaches for results interpretation and consolidation and establishes a method to share data and analysis results.

This part 1 of the standard is specific to the performance evaluation of radionuclide identification in static mode, i.e. when measurement geometry does not change (e.g. radionuclide identification devices in start-stop mode).

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-395:2014, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 395: Nuclear instrumentation: Physical phenomena, basic concepts, instruments, systems, equipment and detectors*

IEC 62755:2012, *Radiation protection instrumentation – Data format for radiation instruments used in the detection of illicit trafficking of radioactive materials*

ISO 8601:2004, *Date and time format*

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-395 apply, as well as the following.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

acceptable response table

list of expected radionuclide identification result(s) reported by the instrument or its replay software

3.1.2

base material

radioactive material that contains one or several radionuclides of known isotopic composition

3.1.3

base material composition table

list of radionuclide(s) that are present in each of the base materials in a sufficient quantity for radionuclide identification by gamma-ray spectrometry

3.1.4

base spectrum

processed raw spectrum used as an input for the generation of sample spectra

3.1.5

confidence index

measure provided by the instrument of the reliability assigned to the radionuclide identification results

Note 1 to entry: Higher values indicate a higher likelihood of the presence of the radionuclide(s), or group of nuclide(s).

3.1.6

confidence index threshold

minimum level of reliability of the radionuclide identification result (i.e. minimum value of the corresponding confidence index) that is required for an isotope to be indicated as present

3.1.7

distortion model

result of distortion modelling evaluation, generally a formula describing how spectra from a given instrument model are affected by a given non-ideal environmental condition

3.1.8

distortion modelling

evaluation of the functional relationship between pulse heights in the non-distorted and distorted spectra acquired under specific environmental, electromagnetic, or other conditions

3.1.9

false negative result

detection or radionuclide identification result that was not reported although it was expected to be

3.1.10

false positive result

detection or radionuclide identification result that was reported although it was expected not to be

3.1.11

detection (identification) report

file containing all detection (radionuclide identification) results generated by an instrument's replay software upon injection of a sample spectrum

3.1.12

identification result

name of a radionuclide or aggregate material which has been identified. It is one item of the identification report

3.1.13**influencing factor**

quantity that is not the measurand but that affects the result of the measurement

3.1.14**injection**

process of submitting processed data (sample spectra) to the replay software for detection and/or radionuclide identification

3.1.15**raw spectrum**

gamma ray spectrum of base material obtained with high statistical accuracy by the instrument under evaluation

3.1.16**replay software**

software that utilizes the detection and/or radionuclide identification analysis algorithm of a particular instrument model on the computer used for injection to create a detection or identification report corresponding to an injected sample spectrum

3.1.17**sample spectrum**

instrument-specific amplitude spectrum produced by processing one or more base spectra for injection

3.1.18**scenario**

description of the test conditions

Note 1 to entry: for example:

- presence of one or several base material(s) and the given ambient gamma dose equivalent rate for each;
- acquisition time;
- presence of influencing factor(s).

3.1.19**semi-empirical performance evaluation**

process of injection of the processed measured data into the instrument-specific replay software for analysis followed by computerized interpretation and consolidation of the results

3.1.20**sensitivity**

ratio of the net total count rate (cps) to the known ambient gamma dose equivalent rate ($\mu\text{Sv/h}$) due to exposure to the given base material by independent means obtained either by calculation or by measurement using a calibrated instrument

3.2 Abbreviated terms

ASCII	American standard code for information interchange
cps	counts per second
EMI	electromagnetic interference
MCA	multichannel analyser
HEU	highly-enriched uranium
LEU	low-enriched uranium
NORM	naturally occurring radioactive materials
PET	positron emission tomography

PMMA	polymethyl methacrylate
FN	false negative
FP	false positive
RGPu	reactor grade plutonium
WGPu	weapons grade plutonium
XML	extensible markup language
UTF	universal character set transformation format

4 General requirements

The semi-empirical performance evaluation method shall consist of the following steps:

- base material characterization and acquisition of raw spectra;
- generation of base spectra from raw spectra;
- distortion modelling;
- generation of the sample spectra according to predefined scenarios;
- injection of the sample spectra into the replay software;
- interpretation and generalization of the radionuclide identification results;
- validation.

Guidance for choosing the base materials can be taken from the relevant standards (e.g. IEC 62327 [3]).

The base spectra, base material composition table, distortion model and replay software shall meet the requirements of this document. The manufacturer shall provide the full list of all possible messages (e.g. identification results) which might appear as the results of radionuclide identification along with a detailed explanation of the meaning of each message. This will enable interpretation of the identification results. One or more instruments shall be used for experimental validation of the semi-empirical performance evaluation results.

A detailed description of the process and relevant requirements are given in the following clauses.

NOTE This method does not account for pileup or increased dead time due to high count rates.

5 Base material characterization and acquisition of input data

5.1 General

The semi-empirical performance evaluation method initially requires base material characterization and input data acquisition. Input data consists of raw spectra and static efficiencies for the instrument(s) under evaluation.

5.2 Base material characterization requirements

All base materials shall be characterized with a high-resolution gamma spectrometer to assess their radionuclide composition. Characterization spectra shall be formatted according to IEC 62755 and provided by the manufacturer, or organization owning the base material, along with the date on which the spectrum was taken. Care should be taken that the base materials do not show significant impurities. If the base material has impurities that can be identified by the instrument, then those radionuclides might appear in the replay software or instrument identification results, and shall be accounted for in the base materials list. Information on sources used should be provided and distributed with the corresponding base

spectra. This will include relevant information such as mass, shape, density and chemical composition (e.g. metal or oxide).

5.3 Base material composition table requirements

The manufacturer or owner of the base material shall provide a base material composition table describing the radionuclide composition of each base material and the measured and validated activity of each source, along with the measurement's date and uncertainty of the measured activity. For the purpose of naming base materials that contain significant quantities of daughter elements, the name of the parent radionuclide shall be used. An example base material composition table is given in Annex A.

5.4 Raw spectra requirements

Raw spectra shall be collected for each base material, including natural radiation background, using the instrument under evaluation. To the extent possible, the same instrument should be used throughout the collection effort.

Conditions for acquisition of the raw spectra shall, to the extent possible, be similar to static operational conditions. Commerce material containing NORM shall be used in bulk form to account for radiation scattering and self-absorption processes.

6 Generation of base spectra from raw spectra

6.1 General

Radiation background shall be subtracted from all spectra, except the spectrum of natural radiation background. Prior to this subtraction, the spectra shall be adjusted to account for differing live times and re-binned as needed to account for any gain shifts. The background subtracted spectrum for each base material becomes the base spectrum. Each base spectrum shall be typical for the model being used (e.g. consideration of differences in energy resolution, low-level discriminators and variation in calibrations).

Base spectra should be named according to Annex B. They should be formatted according to IEC 62755. An example is given in Annex B.

All base spectra shall be defined over the same number of MCA channels and shall have the same energy calibration.

If the instrument under evaluation is designed to identify shielded radionuclide(s), the base spectra of shielded material should be obtained.

Whenever possible, the ambient gamma dose equivalent rate produced by the base material at the instrument under evaluation should be at least 10 times greater than that of background.

Acquisition times for raw spectra shall be adjusted such that the base spectra they are processed into contain at least ten times the number of counts contained in any individual sample spectrum expected to be generated from them. This should be according to the formula:

$$D_0 T_0 \geq 10 D_s T_s \quad (1)$$

Where:

- D_0 is the dose rate produced by the base material at the distance at which the base spectrum was collected;
- T_0 is the live time of the base spectrum;
- D_s is the maximum dose rate to be simulated in the sample spectra;
- T_s is the maximum live time to be simulated in the sample spectra.

Care should be taken to ensure that the dead time is as low as possible to avoid pileup, but no more than 2 %. As these raw spectra are collected over long periods of time, care should also be taken to avoid conditions which can lead to gain shifts.

6.2 Base spectra data element requirements

The following data elements shall be included in each base spectrum:

- <RealTimeDuration>: Real time in the format “PT1H15M05.2S”, “PT75M5.2S”, or “PT4505.2S”.
- <LiveTimeDuration>: Live time in the format “PT1H15M05.2S”, “PT75M5.2S”, or “PT4505.2S”.
- <EnergyCalibration>: Energy calibration information that spectrum measurements can reference as applicable to a particular spectrum. There are two methods available for providing energy calibration information: either in the form of a second-order polynomial equation in which the *CoefficientValues* child element shall be specified, or in a table in which the *EnergyBoundaryValues* child element shall be specified. Only one of the two methods applies to a particular energy calibration. The *EnergyDeviationValues* and *EnergyValues* child elements provide a means to account for the difference in the energy predicted by the second-order polynomial equation and the true energy.
- <DoseRateValue>: The measured ambient radiation dose equivalent rate value in $\mu\text{Sv/h}$.
- <ChannelData>: A list of values, one for each of a spectrum's channels. The values represent the number of counts per channel.
- <Sensitivity>: a ratio of the net total count rate (cps) to the known ambient gamma dose equivalent rate ($\mu\text{Sv/h}$) due to exposure to the given base material by independent means obtained either by calculation or by measurement using a calibrated instrument. Parent element: <Measurement>.
- <StartDateTime>: Time corresponding to the start of the collection of the data contained in the base spectrum. This should be in the format “2004-11-03T14:36:04.3-06:00”, where “-06:00” represents the difference between universal coordinated time and local time.

For the time format, the number preceding “H” gives the hours of the measurement duration, the number preceding “M” gives the minutes of the measurement duration and the number preceding “S” gives the seconds of the measurement duration. This duration can be expressed with hours, minutes and seconds or can be expressed as minutes and seconds or seconds only. This is according to ISO 8601.

Additionally, the following data elements should be recorded:

- <RadDetectorName>: The name of the radiation detector.
- <Nuclide>: The radionuclide used to obtain the base spectrum.

- Neutron counts: Number of neutron counts collected over the duration of the measurement. This should be stored under a <GrossCounts> tag as in the following example:

```
<GrossCounts id="M112N" radDetectorInformationReference="Neutron">
  <LiveTimeDuration>PT3.08</LiveTimeDuration>
  <CountData>2</CountData>
</GrossCounts>
```

6.3 Sensitivity requirements

The sensitivity of the instrument to the given base material shall be obtained with an uncertainty of less than 20 % (with a confidence level of 95 %).

The position of the instrument under evaluation shall be determined based on accuracy requirements. The instrument's orientation with respect to the source shall be the same as how it is intended to be used in the field. Raw spectra shall be acquired at a count rate where the effects of pile-up are negligible.

The sensitivity shall be calculated according to formula (2).

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{net_count_rate (cps)}}{\text{ambient_gamma_dose_equivalent_rate (\mu Sv/h)}} \quad (2)$$

Obtained sensitivities for each base material shall be included in the base spectra under the element <Sensitivity> as shown in Clause B.2.

7 Distortion modelling

7.1 General requirements

To assess an instrument's tolerance to specified influencing factors, distortion modelling should be obtained. Distortion is defined as the change in position of the peaks in the spectrum due to influencing factors. Some common influences affecting the instrument's energy scale are temperature, magnetic field and high count rate. Other influences can be modelled as desired.

The file containing the parameters of the distortion model shall be named and formatted according to Annex C.

7.2 Acquisition of model parameters

The generic process of distortion modelling is as follows:

- Establish the reference peak centroid values from the spectra under normal test conditions³; At a minimum, three peaks, covering nearly the full energy range shall be used for the modelling (e.g. 59,5 keV from ²⁴¹Am, 661,5 keV from ¹³⁷Cs, and 2 614 keV from ²³²Th decay chain).
- Keeping all other conditions the same as that for the reference spectra expose the instrument to the influence and obtain influence spectra using the same process as that used to establish reference spectra.

³ Conditions established in the standard applicable to the instrument type.

- Obtain polynomial coefficients for the distortion model from the peak shifts between the mean position of the peaks in the reference spectra and the positions of these same peaks in the influence spectra, as described in Annex C.

8 Generation of sample spectra

8.1 Scenarios

Scenarios define the semi-empirical performance evaluation method test conditions. Each scenario shall contain the acquisition time, individual dose equivalent rate from each base material and background involved and the presence of influence(s), when applicable. Each scenario shall have a unique name. Scenario names shall be used to name the corresponding sample spectra and identification reports. Files containing scenarios should be formatted according to Annex D.

8.2 Group of scenarios

Evaluation of the instrument performance might involve a large number of various scenarios. Logically connected scenarios can be grouped into a group of scenarios for the convenience of handling a large amount of data.

Scenarios in a group might target a specific aspect of the instrument's performance, such as its ability to identify innocent radioactive materials or shielded materials. There might be one or several groups of scenarios, each corresponding to specific test procedures established by international (e.g. IEC 62327 [3]) standards.

8.3 Sample spectra

Sample spectra are generated from the base spectra to simulate the measured spectra which would be acquired under the conditions specified by the given scenario. For the same scenario, a minimum of 100 individual sample spectra shall be generated to ensure statistical confidence of the performance evaluation results.

NOTE The total counts obtained from the base spectra defines the maximum counts for the development of the sample spectra.

The algorithm to generate a sample spectrum shall be compliant with the process described in Annex E. The process described consists of spectrum distortion, scaling down and summing-up processes and ensures a level of statistical variation in accordance with those expected in measured spectra.

Each sample spectrum shall be formatted according to IEC 62755 (see the example of the base spectrum in Annex B). The name of each sample spectrum shall be unique for the scenario it corresponds to and contain the scenario name and its sequential number.

9 Injection of sample spectra

9.1 General requirements

If the instrument's radionuclide identification algorithm requires injection of the radiation background sample spectrum, this spectrum should be obtained and injected as required.

9.2 Replay software requirements

The replay software shall read sample spectra files, process the data in these files and record identification report files.

The replay software shall not disclose any proprietary information about an instrument's radionuclide identification algorithm.

Replay software shall:

- a) use a radionuclide identification algorithm (including its library of nuclides) that is functionally equivalent to the instrument-embedded algorithm;
- b) read a sample spectrum and perform a radionuclide identification;
- c) run in a batch mode in order to open and analyse all spectra in the selected folder;
- d) generate one output file (i.e. identification report) for each injected sample spectrum, save it in the specified folder under the name of the analysed sample spectrum but with the extension *.res.

The replay software shall record the radionuclide identification algorithm version and the minimum necessary information about algorithm configuration in the identification report.

The replay software package shall be self-contained, in that it includes all components necessary for it to run.

9.3 Identification report requirements

The data in the identification report should be UTF-8 characters encapsulated using the extensible mark-up language (XML). An example of this file is given in Annex F.

The names of the individual radionuclides or group of radionuclides recorded in the identification reports shall be identical to those defined in the acceptable response table. The acceptable response table is discussed further in 9.1 and Annex G.

10 Data interpretation and consolidation

10.1 Data interpretation

The expected identification results for all base materials shall be defined for data interpretation in a computer-readable data format according to Annex G.

The content of the acceptable response table shall contain the following information:

- radionuclide composition for the given base material described in the base material composition table;
- expected results for radionuclide identification, e.g. those that shall be reported for this particular base material and those that can be reported without considering them being false positive results;
- naming convention.

Interpretation of identification reports can be performed according to the scheme in Annex H. Its paradigm takes into consideration a degree of consistency between actual and expected results of radionuclide identification allowing for the establishment of flexible scoring schemes and for troubleshooting.

Interpretation of the identification report might involve analysis of confidence indices associated with the reported identification results. The confidence index shall be reported on a scale of 0 to 10. Identification results below a certain confidence index value or threshold might not be reported by the radionuclide identification algorithm. The use of this confidence index threshold can serve as a tool to optimise the instrument performance by aiding an analyst in balancing the false positive and false negative rates for specific radionuclides.

10.2 Consolidated identification reports

Results can be summarized in a variety of methods. For example, two possible methods for summary of results are by scenario and by the ability of the instrument to identify radionuclides under changing conditions. Examples of consolidated identification reports are given in Annex I.

Consolidated identification reports might help in, but are not limited to, the following:

- determining instrument compliance with performance requirements expressed by the number of correct and complete identification results for the given base material(s);
- study of the instrument performance to withstand influencing factors;
- an assessment of the instrument's vulnerability to gradual changes of test conditions (e.g. dose rate from the base material(s), or acquisition time);
- test of instrument compliance with the performance requirements expressed in the units of false positive and/or false negative rates for individual radionuclide(s), or radionuclide group(s);
- optimization of the instrument performance through adjustment of its sensitivity to the individual radionuclide(s) or the group of radionuclide(s), e.g. setting up individual confidence index threshold(s), or changing the corresponding "identity" criteria such as templates and gamma line(s) required.

11 Validation

11.1 General

Data obtained by means of a semi-empirical performance evaluation method shall be experimentally validated through a limited number of tests. There shall be at least two groups of tests – validation of the sample spectra against measured spectra and validation of the replay software against the instrument-embedded software.

11.2 Equivalency between measured and sample spectra

11.2.1 Requirements

Sample spectra shall be validated against measured spectra obtained with the same instrument under the same test conditions to ensure equivalency.

11.2.2 Method of test

The validation of equivalency shall be performed for each of several scenarios as follows:

- a) collect test spectra of base material(s) under the test conditions defined by the scenario;
- b) collect background spectrum;
- c) generate sample spectra from the base material(s) and background using the same test conditions;
- d) compare the generated and acquired spectra and note significant differences. Areas of concern might be peak counts, peak locations and resolution.

11.3 Equivalency between replay software and instrument-embedded software

11.3.1 Requirements

Replay software and instrument-embedded software shall contain the same radionuclide identification algorithm. To help ensure that the algorithm is the same, the technique shown in the method of test should be used.

NOTE Differences between the instrument-embedded and injection computer processors' architecture can cause a minimal variation in results due to different numerical precision.

11.3.2 Method of test

- a) collect test spectra from several base materials under various test conditions and perform a radionuclide identification with the instrument-embedded software;
- b) upload the data from the instrument, convert the spectra into the replay software-readable format and inject them into the replay software;
- c) compare the results generated by the instrument under evaluation and those obtained from the replay software. Note any differences.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62957-1:2017

Annex A (informative)

Example base material composition table

The following Table A.1 is an example of a base material composition table for given base materials. The list of main radionuclides is not meant to be prescriptive.

Table A.1 – Base material composition for base material isotopic composition

No.	Base material	Main radionuclide(s)	Activity	Date of measurement
1	Am-241	Am-241		
2	Background	K-40, Th-232 decay chain, U-238 decay chain		
3	Ceramic	K-40, Th-232 decay chain, U-238 decay chain		
4	Cs-137	Cs-137		
5	Co-60	Co-60		
7	Sr-90	Sr-90, Y-90		
8	Potassium fertilizer	K-40		
9	Depleted uranium	U-238, U-235		
10	Weapons Grade Plutonium	Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241		
11	Tc-99m	Tc-99m, Mo-99, Tc-99		
12	Se-75	Se-75		
13	Highly enriched uranium	U-235, U-238, U-232, U-234		
14	Tl-201	Tl-201, Tl-202		
15	Eu-152	Eu-152, Eu-154		

Annex B (informative)

Base spectra naming convention and format

B.1 Naming convention for base spectra

While the spectrum names are normative, the comments are considered to be informative, see Table B.1.

Table B.1 – Naming convention for the base spectra

Nuclide or aggregate	Spectrum name	Comments
^{235}U	HEU_description.n42	Highly enriched uranium with $^{235}\text{U}/\text{U}$ above or equal to 20 %
$^{235}\text{U}+^{238}\text{U}$	LEU_description.n42	Low enriched uranium with $^{235}\text{U}/\text{U}$ between 0,7 % and 20 %
^{238}U	DU_description.n42	Depleted uranium with $^{235}\text{U}/\text{U}$ below 0,7 %
$^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}+^{241}\text{Pu}$	WGPu_description.n42	Weapons grade plutonium with $^{239}\text{Pu}/\text{Pu}$ above or equal to 93 %
$^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}+^{241}\text{Pu}$	RGPu_description.n42	Reactor grade plutonium with $^{239}\text{Pu}/\text{Pu}$ below 93 %
^{40}K	Knorm_description.n42	Potassium fertilizer or potassium salt
^{238}U decay chain	Unorm_description.n42	Uranium decay chain in equilibrium with daughters (e.g. a base spectrum of phosphate fertilizer)
^{232}Th decay chain	Tnorm_description.n42	Thorium decay chain in equilibrium with daughters (e.g. a base spectrum of welding rods, camera lenses or lantern mantles)
Natural radiation background	Bgnd_description.n42	Contribution from non-naturally occurring radioactive material into the spectrum shall be negligible
nnnMM	MMnnnx.n42	All other nuclides, MM is a 2-alphabetic placeholder for the nuclide name according to [3]. nnn is an up to 3-digits placeholder for nuclide atomic number, e.g. Cf252.n42. x is an optional indication for metastable nuclides by the letter "m"
Shielded and/or alternative base material	Name_description.n42	All shielded or alternative base materials when subject of evaluation

[illegible]

Annex C (informative)

Distortion modelling

The following is an example of a distortion model that can be used to show the influence of various factors on the sample spectra. An example of distorted and non-distorted spectra is given in Figure C.1.

- a) The name of the file that contains the distortion model is Distortion.n42.
- b) The data layout in the distortion model is formatted as described below.

```
<RadInstrumentInformation id="Instrument">
  <RadInstrumentManufacturerName>RIDs R Us</RadInstrumentManufacturerName>
  <RadInstrumentIdentifier>SN 7890A</RadInstrumentIdentifier>
  <RadInstrumentModelName>iRID</RadInstrumentModelName>
  <RadInstrumentClassCode>Radionuclide Identifier</RadInstrumentClassCode>
  <RadInstrumentVersion>
    <RadInstrumentComponentName>Hardware</RadInstrumentComponentName>
    <RadInstrumentComponentVersion>31Z</RadInstrumentComponentVersion>
  </RadInstrumentVersion>
  <RadInstrumentVersion>
    <RadInstrumentComponentName>Software</RadInstrumentComponentName>
    <RadInstrumentComponentVersion>1.1</RadInstrumentComponentVersion>
  </RadInstrumentVersion>
  <Influence>
    <InfluenceName> TemperatureHigh </InfluenceName>
    <InfluenceValue>-0.2 1.003 0.0</InfluenceValue>
    <InfluenceName> TemperatureLow </InfluenceName>
    <InfluenceValue>2.5 -1.04 0.0</InfluenceValue>
  </Influence>
</RadInstrumentInformation>
```

- c) For the common influences affecting performance of an instrument, the following standard names <InfluenceName> are:

- Energy calibration reproducibility over time <TimeInstability>
- Exposure to high operating temperature <TemperatureHigh>
- Exposure to low operating temperature <TemperatureLow>
- Exposure to electromagnetic influence
- Exposure to mechanical vibration <Vibration>
- High count rate <CountRateHigh>

For the less common influences, instrument manufacturers may specify individual names.

- d) For a given influence the functional relationship between pulse heights in reference (non-distorted) and influence (distorted) spectra are approximated by the second degree polynomial:

$$C'_i = k_1 + k_2 \cdot C_i + k_3 \cdot C_i^2 \quad (\text{C.1})$$

with k_1 , k_2 , and k_3 being polynomial coefficients, C' and C are the centroids of the peaks in the influence and reference spectra, respectively. These peaks are obtained in channels in a standard energy scale⁴ These peaks are stored under the "InfluenceValue" tag as <InfluenceValue> k1 k2 k3 </InfluenceValue>.

⁴ The energy scale used for the definition of base spectra.

e) For three reference peaks C_1 , C_2 and C_3 , corresponding to e.g. 59,6 keV, 661,6 keV and 2 614 keV a system of three linear formulas is solved:

$$C'_1 = k_1 + k_2 \cdot C_1 + k_3 \cdot C_1^2 \quad C'_2 = k_1 + k_2 \cdot C_2 + k_3 \cdot C_2^2 \quad C'_3 = k_1 + k_2 \cdot C_3 + k_3 \cdot C_3^2 \quad (\text{C.2})$$

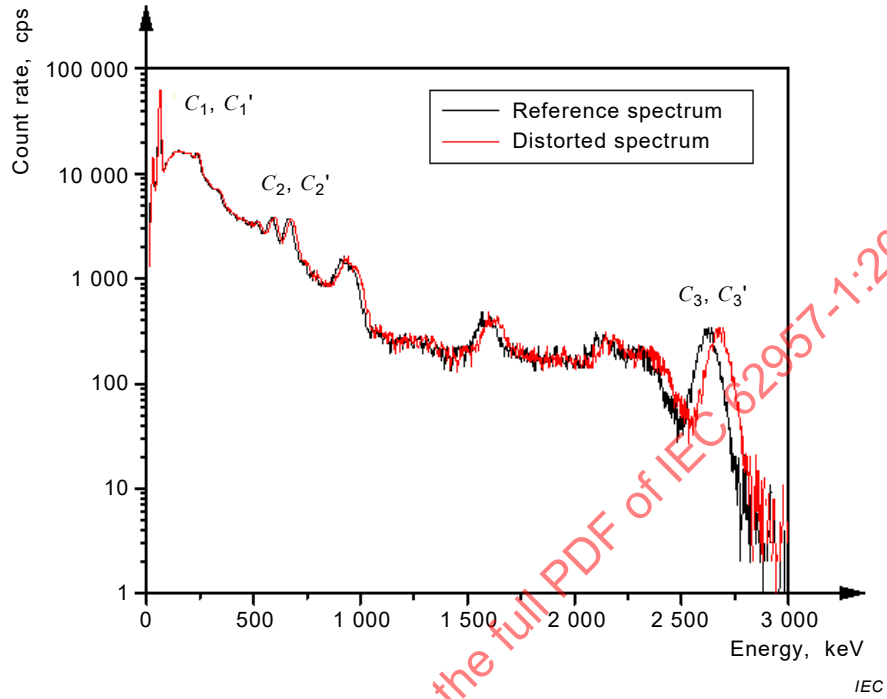


Figure C.1 – Reference and distorted spectra

Annex D (informative)

Scenario

The following is an example of a scenario file:

```
<Scenario>
  <BaseMaterialName> Background </BaseMaterialName>
  <BaseMaterialExposure>0.01</BaseMaterialExposure>
  <BaseMaterialName> HEU </BaseMaterialName>
  <BaseMaterialExposure>1.0</BaseMaterialExposure>
  <BaseMaterialName> Ga67 </BaseMaterialName>
  <BaseMaterialExposure>5.0</BaseMaterialExposure>
  <Replication> 100 </Replication>
  <AcquisitionTime> 500 </AcquisitionTime>
  <Influence> TemperatureHigh </Influence>
</Scenario>
```

The following description applies:

- a) element <BaseMaterialName>: a standard name of the base material included in the particular scenario;
- b) element <BaseMaterialExposure>: specific ambient gamma dose equivalent rate in $\mu\text{Sv/h}$, produced by the particular base material at the reference point of the instrument under evaluation;
- c) element <Replication>: number of sample spectra to be drawn for the given scenario;
- d) element <AcquisitionTime>: total live time of sample spectrum in seconds;
- e) element <Influence>: the standard name for the influence(s) included in scenario.

A scenario group can be created to identify related scenarios, such as those created to follow a given standard.

Annex E (normative)

Technique for sample spectra generation

E.1 General

The process for sample spectrum generation shall consist of three successive steps: distortion, scaling-down and summing-up, described below.

E.2 Distortion

The distortion parameters are applied to each energy bin in the spectrum in order to introduce the effect of the relevant influencing factor.

E.3 Scaling-down

Sampling into the scaled-down base spectrum $S_k(x)$ shall be done by Monte-Carlo technique in a manner described below. λ_k is a random value distributed according Poisson distribution with a mean value $\overline{\lambda_k}$, which will be used as the stopping condition for the Monte Carlo process. It is recommended that $\overline{\lambda_k}$ be less than one-tenth of the total counts from the base spectra. The scaling-down process is a random sampling of λ_k total counts from the k – base spectrum $N_k(x)$, with

$$\overline{\lambda_k} = T \cdot \dot{H}_k^*(10) \cdot \text{Static_Efficiency}_k \quad (\text{E.1})$$

being the average expected number of counts in the instrument for the acquisition time T (seconds) from base material(s), producing ambient gamma dose equivalent rate(s) $\dot{H}_k^*(10)$ ($\mu\text{Sv/h}$) at the reference point of the instrument. The $\text{Static_Efficiency}_k$ is a parameter of the base material, k .

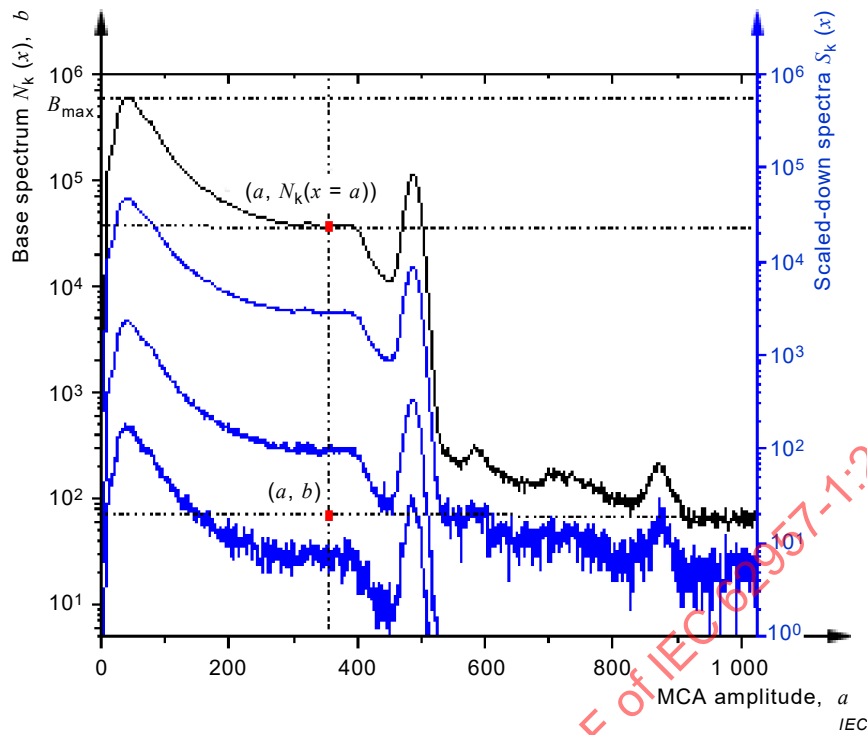


Figure E.1 – Scaling-down technique

A random value generator, with a uniform distribution, produces a pair of integer numbers (a, b) in the following ranges: $a \in [0, A-1]$ and $b \in [0, B_{\max}]$, where A is the total number of MCA channels and $B_{\max}$ is the maximum number of counts per channel in the base spectrum $N_k(x)$.

If $b \leq N_k(a)$, $S_k(a)$ is incremented.

This process is repeated as long as the total number of counts in the scaled-down base spectrum is less than the expected number of counts, i.e. while

$$\sum_{x=0}^{x=A-1} S_k(x) \leq \lambda_k \quad (\text{E.2})$$

Figure E.1 illustrates this process with the upper spectrum (in black) showing the base spectrum while the lower spectra (blue) are scaled down spectra.

E.4 Summing-up

In most cases there are at least two spectral components comprising each sample spectrum⁵. These spectra $S_k(x)$, obtained by the scaling-down technique over the same acquisition time shall be merged together to form one resulting sample spectrum $S_\Sigma(x)$.

It is assumed that the spectrum, acquired by the instrument from several simultaneously present base materials, is distributive as:

$$S_\Sigma(x) = \int \left(\sum_{k=1}^n S_k(\varepsilon) \right) G(\varepsilon, x) d\varepsilon = \sum_{k=1}^n \int S_k(\varepsilon) G(\varepsilon, x) d\varepsilon = S_1(x) + S_2(x) + \dots + S_n(x) \quad (\text{E.3})$$

where $S_k(\varepsilon)$ is the gamma energy spectrum of k base material, $G(\varepsilon, x)$ is the instrument's response function and n is the number of base materials used. This simplification assumes that nonlinear summation effects, such as dead time, are negligibly small. The resulting sample spectrum of all scaled-down base spectra is a channel-by-channel sum:

$$S_\Sigma(x) = \sum_{k=1}^n S_k(x), x \in [0, A-1] \quad (\text{E.4})$$

⁵ Base spectrum and natural radiation background spectrum.

Annex F (normative)

Identification report

The semi-empirical injection identification report shall contain the output of the replay software's analysis of a single sample spectrum. The information in the report includes:

- Scenario ID (<ScenarioID>): A unique code identifying the scenario which is used to ensure that unique file names are generated for each file.
- Identification result (<Identification>): Records the instrument's radionuclide identification determination, including:
 - Name of each identified radionuclide or other indication (<IDName>): The name of the radionuclide or aggregate material which has been identified, or other indication reported by the algorithm (e.g., "unknown").
 - Confidence index for each identified radionuclide (<IDConfidence>): The replay software's confidence in the identification of the radionuclide or aggregate material.
- A flag indicating whether the instrument would have displayed the result (<Reported>): Indicates whether this nuclide or aggregate would have been reported to the user of the instrument. If this element is omitted, the default is "true" (i.e. the result was not omitted due to being below a confidence index threshold).

An example of an identification report file is shown below:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<IdentificationReport>
  <Algorithm>
    <Version>1.1</Version>
  </Algorithm>
  <Setting>
    <SettingName>Sensitivity</SettingName>
    <SettingValue>3.2</SettingValue>
  </Setting>
  <Setting>
    <SettingName>Threshold</SettingName>
    <SettingValue>1.23e-03</SettingValue>
  </Setting>
  <Setting>
    <SettingName>Library</SettingName>
    <SettingValue>Standard.lib</SettingValue>
  </Setting>
</Algorithm>
<Identification>
  <IDName>HEU</IDName>
  <IDConfidence>6</IDConfidence>
  <Reported>true</Reported>
</Identification>
<Identification>
  <IDName>K-40</IDName>
  <IDConfidence>9</IDConfidence>
  <Reported>true</Reported>
</Identification>
<Identification>
  <IDName>WGPu</IDName>
  <IDConfidence>2</IDConfidence>
  <Reported>>false</Reported>
</Identification>
<ScenarioID>4BC56D</ScenarioID>
<ScenarioGroupID>SNMScenarios</ScenarioGroupID>
</IdentificationReport>
```

Annex G (informative)

Acceptable response table example

This table defines acceptable responses for each base material. An example of this table is given below:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<BaseMaterial>
  <MaterialName>HEU</MaterialName>
  <CCCList>U-235</CCCList>
  <CCCList>U-235 U-238</CCCList>
</BaseMaterial>

<BaseMaterial>
  <MaterialName>Background</MaterialName>
  <CCCList>K-40</CCCList>
  <CCCList>Th-232</CCCList>
  <CCCList>K-40 Th-232</CCCList>
  <CCCList>Background</CCCList>
</BaseMaterial>

<BaseMaterial>
  <MaterialName>Cs137</MaterialName>
  <CCCList>Cs-137</CCCList>
</BaseMaterial>
</Correspondence>
```

where:

- Each <BaseMaterial> defines a new base material. A single acceptable response table contains one <BaseMaterial> element for each base material used.
- <MaterialName> contains the name of the base material being defined.
- Each <CCCList> contains an acceptable result for the given base material. Multiple <CCCList> elements can be contained within each <BaseMaterial> parent element.
- Consider all impurities of the base materials, include them in the <CCCList>.

Annex H (informative)

Guide to recommended identification report interpretation scheme

It is recommended that identification reports be interpreted according to the scheme below (see Figure H.1).

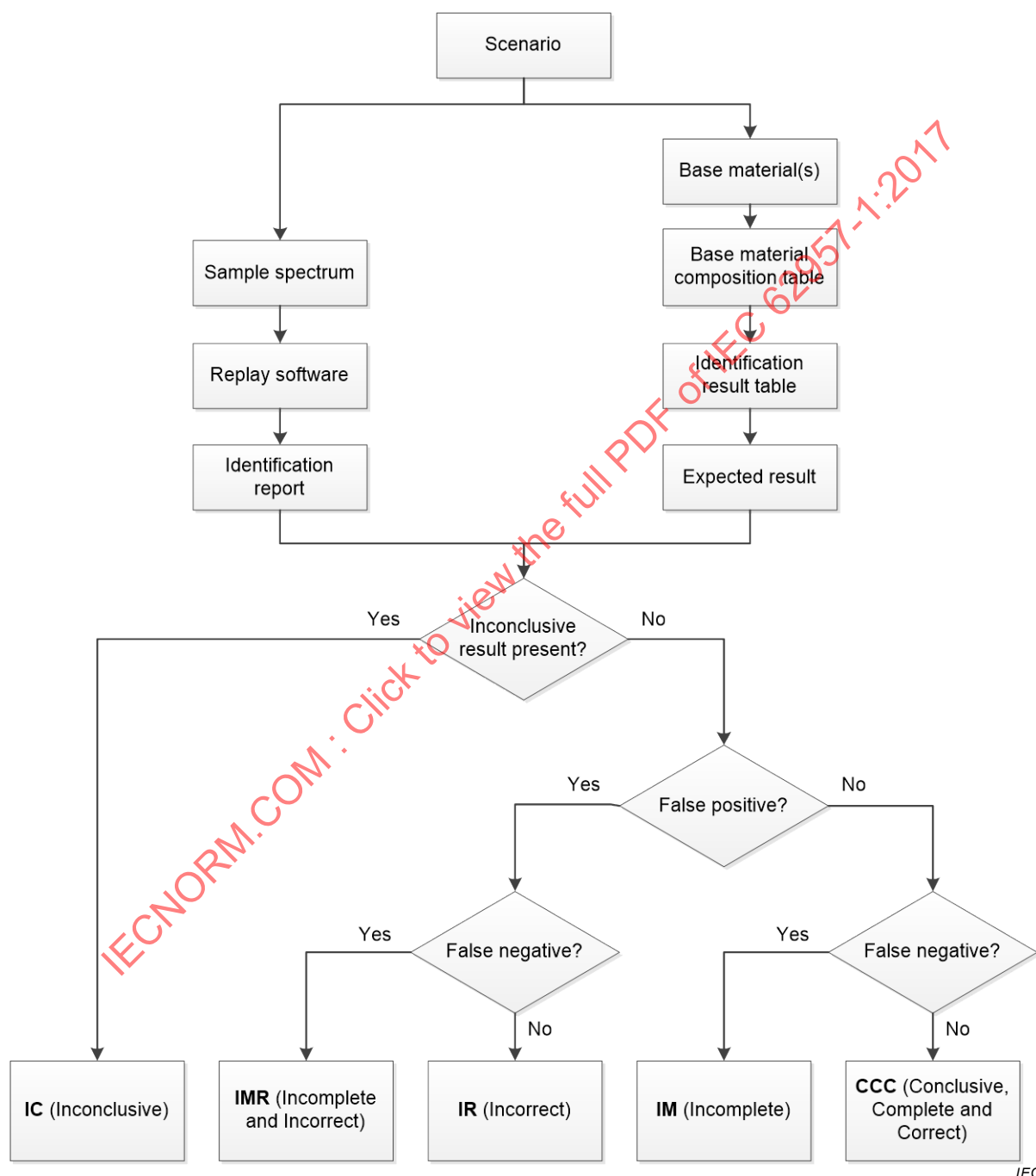


Figure H.1 – Recommended identification results interpretation scheme

Abbreviations appearing in the chart have the following definitions:

- **InConclusive (IC)**: the case when at least one result is inconclusive (e.g. high counts, low counts).

- The following report types are all considered to be conclusive, meaning that the identification report does not include any inconclusive results.
- **IncoMplete and IncoRrect (IMR)**: report that contains at least one false positive and at least one false negative identification result(s).
- **IncoRrect (IR)**: report that contains at least one false positive, but does not contain any false negative identification result(s).
- **IncoMplete (IM)**: report that does not contain any false positives, but contains at least one false negative identification result.
- **Conclusive, Correct and Complete (CCC)**: report containing neither false positive nor false negative identification results.

Legend for Examples below:

- x, y, z are various conclusive identification results, such as Pu-238, HEU, PET, bremsstrahlung, neutrons.

Question mark indicates the presence of inconclusive result, such as suspicious, possible, unknown, not in library, low statistics, measure longer, etc.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62957-1:2017

Examples of identification reports, containing conclusive result(s)

[Expected result(s)]: [Reported result(s)]	Interpretation of report
$\begin{bmatrix} x \\ \vdots \\ x \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} x \\ \vdots \\ y \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} \\ \vdots \\ \end{bmatrix}$	Conclusive, complete and correct (CCC)
[Expected result(s)]: [Reported result(s)]	Interpretation of report
$\begin{bmatrix} x \\ \vdots \\ y \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} x \\ \vdots \\ \end{bmatrix}$	Incomplete (IM); y is a false negative result Incomplete (IM); x is a false negative result
$\begin{bmatrix} x \\ \vdots \\ y \end{bmatrix}$	Incorrect (IR); y is a false positive result
$\begin{bmatrix} x \\ \vdots \\ y \end{bmatrix}$	Incomplete and Incorrect (IMR); x is false negative result; y is a false positive result
$\begin{bmatrix} x \\ \vdots \\ y \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} \\ \vdots \\ z \end{bmatrix}$	Incomplete and Incorrect (IMR); x and y are false negative result, z is a false positive result
$\begin{bmatrix} x \\ \vdots \\ y \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} x \\ \vdots \\ z \end{bmatrix}$	Incomplete and Incorrect (IMR); y is false negative result, z is a false positive result

Examples of identification reports, containing inconclusive result(s)

[Expected result(s)]: [Reported result(s)]	Interpretation of report
$\begin{bmatrix} x \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} ? \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} ? \\ y \end{bmatrix}$	Inconclusive (IC)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62957-1:2017

Annex I (informative)

Consolidated identification reports

I.1 Example of consolidated identification report by scenario (see Table I.1)

<Background value> 0,1 µSv/h

<Influencing factor TemperatureHigh> false

<Influencing factor TemperatureLow> false

Table I.1 – Consolidated identification report example

Scenario	Base material	Dose	Time	Trials	IM	IR	IMR	CC	IC	FP(N)	FN(N)
BEF371	In-111	0,5	60	10	0	0	0	10	0	0	0
ADE453	Xe-133	0,5	60	10	0	1	0	9	0	Se-75(1)	0
5CCAF9	Tc-99m	0,5	60	10	0	0	0	10	0	0	0
0FBAEC	Tl-201	0,5	60	10	0	0	0	10	0	0	0
1B3EC4	Ga-67	0,5	60	10	0	0	0	10	0	0	0
15E64C	I-125	0,5	60	10	0	0	0	10	0	0	0
8E30E5	I-123	0,5	60	10	0	0	0	10	0	0	0
900CB0	I-131	0,5	60	10	0	0	0	10	0	0	0
BEF371	F-18	0,5	60	10	2	0	0	8	0	0	F-18(2)

I.2 Example of identification report consolidated by ability of instrument to identify a given radionuclide under changing conditions (see Table I.2)

In the example below, a scenario group comprises three base materials – HEU, ceramic and Tl-201 and involves variable test conditions. False positive and false negative result rates for U-235 are obtained from this set of data in the following format:

<Background value> 0,1 µSv/h

<Nuclide of interest> U-235

<Influencing factor TemperatureHigh> false

<Influencing factor TemperatureLow> false

Table I.2 – Example of identification report consolidated by material

Base material	Scenario	Dose rate	Time	Trials	FP(N)	FN(N)
Ceramic						
	411438	0,05	60	10	0	n/a
	85DDF2	0,1	60	10	1	n/a
	CF31D6	0,5	60	10	0	n/a
	403D05	1	60	10	4	n/a
	D8BFFB	0,05	600	10	0	n/a
	BB669C	0,1	600	10	4	n/a
	869FAC	0,5	600	10	10	n/a
	502D89	1	600	10	10	n/a
TI-201						
	EF1A18	0,05	60	10	0	n/a
	DFB9AA	0,1	60	10	0	n/a
	A7B6E6	0,5	60	10	0	n/a
	4C56EC	1	60	10	0	n/a
	C5DE8E	0,05	600	10	0	n/a
	9012F7	0,1	600	10	0	n/a
	FF284E	0,5	600	10	2	n/a
	0168F4	1	600	10	4	n/a
HEU						
	E58848	0,05	60	10	n/a	9
	4986FF	0,1	60	10	n/a	6
	DD9EB3	0,5	60	10	n/a	1
	D19EC5	1	60	10	n/a	0
	F946DA	0,05	600	10	n/a	0
	DBA2FD	0,1	600	10	n/a	0
	4C4A1A	0,5	600	10	n/a	0
	3AA51	1	600	10	n/a	0

Bibliography

- [1] R. Arlt et al., "Semi-empirical approach for performance evaluation of radionuclide identifiers", *Nuclear Science Symposium Conference Record (NSS/MIC)*, 2009, IEEE, p. 990
- [2] ISO 80000-9:2009, *Quantities and units – Part 9: Physical chemistry and molecular physics*
- [3] IEC 62327:2006, *Radiation protection instrumentation – Hand-held instruments for the detection and identification of radionuclides and for the indication of ambient dose equivalent rate from photon radiation*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62957-1:2017

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	38
INTRODUCTION.....	40
1 Domaine d'application	41
2 Références normatives	41
3 Termes, définitions et termes abrégés	41
3.1 Termes et définitions	41
3.2 Termes abrégés	44
4 Exigences générales	44
5 Caractérisation des matières de base et acquisition des données d'entrée	45
5.1 Généralités	45
5.2 Exigences relatives à la caractérisation des matières de base	45
5.3 Exigences relatives au tableau de composition des matières de base	45
5.4 Exigences relatives aux spectres bruts	45
6 Génération des spectres de base à partir des spectres bruts	45
6.1 Généralités	45
6.2 Exigences relatives aux éléments de données des spectres de base	46
6.3 Exigences relatives à la sensibilité	47
7 Modélisation de la distorsion	47
7.1 Exigences générales	47
7.2 Acquisition de paramètres de modèle	48
8 Génération de spectres échantillons	48
8.1 Scénarios	48
8.2 Groupes de scénarios	48
8.3 Spectres échantillons	48
9 Injection de spectres échantillons	49
9.1 Exigences générales	49
9.2 Exigences relatives au logiciel de réexécution	49
9.3 Exigences relatives au rapport d'identification	49
10 Interprétation et consolidation des données	49
10.1 Interprétation des données	49
10.2 Rapports d'identification consolidés	50
11 Validation	50
11.1 Généralités	50
11.2 Equivalence entre les spectres mesurés et les spectres échantillons	51
11.2.1 Exigences	51
11.2.2 Méthode d'essai	51
11.3 Equivalence entre le logiciel de réexécution et le logiciel intégré à l'instrument	51
11.3.1 Exigences	51
11.3.2 Méthode d'essai	51
Annexe A (informative) Exemple de tableau de composition des matières de base	52
Annexe B (informative) Format et convention de nommage pour les spectres de base	53
B.1 Convention de nommage pour les spectres de base	53
B.2 Exemple de format de spectres de base	54
Annexe C (informative) Modélisation de la distorsion	55

Annexe D (informative) Scénario	57
Annexe E (normative) Technique de génération de spectres échantillons	58
E.1 Généralités	58
E.2 Distorsion	58
E.3 Réduction	58
E.4 Synthèse.....	59
Annexe F (normative) Rapport d'identification	61
Annexe G (informative) Exemple de tableau des réponses acceptables	62
Annexe H (informative) Guide du schéma d'interprétation recommandé pour les rapports d'identification.....	63
Annexe I (informative) Rapports d'identification consolidés	67
I.1 Exemple de rapport d'identification consolidé par scénario (voir Tableau I.1)	67
I.2 Exemple de rapport d'identification consolidé par la capacité de l'instrument à identifier un radionucléide donné dans des conditions variables (voir Tableau I.2)	67
Bibliographie.....	69
 Figure C.1 – Spectres de référence et spectres distordus	 56
Figure E.1 – Technique de réduction	59
Figure H.1 – Schéma d'interprétation recommandé pour les résultats d'identification	63
 Tableau A.1 – Composition isotopique des matières de base	 52
Tableau B.1 – Convention de nommage pour les spectres de base.....	53
Tableau I.1 – Exemple de rapport d'identification consolidé	67
Tableau I.2 – Exemple de rapport d'identification consolidé par matière.....	68

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – MÉTHODE SEMI-EMPIRIQUE POUR L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE DÉTECTION ET D'IDENTIFICATION DE RADIONUCLÉIDES –

Partie 1: Evaluation de la performance des instruments avec l'identification des radionucléides en mode statique

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale 62957-1 a été établie par le sous-comité 45B: Instrumentation pour la radioprotection, du comité d'études 45 de l'IEC: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45B/876/FDIS	45B/880/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62957, publiées sous le titre général *Instrumentation pour la radioprotection – Méthode semi-empirique pour l'évaluation des performances de détection et d'identification de radionucléides*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

L'application de méthodes traditionnelles¹ pour évaluer les performances des instruments utilisés pour la détection et l'identification des radionucléides soulève des difficultés bien connues. Celles-ci ont principalement trait à la logistique des essais et aux ressources requises pour les essais de qualification.

Une autre méthode d'évaluation des performances, semi-empirique, a donc été créée [1]². Cette méthode, également connue sous le nom d'étude par injection, repose sur l'interprétation informatisée des rapports de détection ou d'identification obtenus par injection de données traitées dans un logiciel de réexécution spécifique à l'instrument, destiné à détecter et identifier des radionucléides. Cette méthode n'interdit pas le recours à des données synthétiques en l'absence de données expérimentales.

La méthode semi-empirique reste raisonnablement précise, sans nécessiter de ressources importantes pour l'évaluation des performances. Dans certaines applications, où les essais de performances sont impossibles ou difficiles à réaliser sur l'ensemble du domaine d'application, l'utilisation d'une méthode semi-empirique peut alors apporter une garantie raisonnable des performances de l'instrument. La méthode semi-empirique n'est en aucun cas destinée à remplacer complètement les essais traditionnels, mais plutôt à les compléter.

Il est prévu que la présente norme comporte trois parties. La Partie 1 concerne spécifiquement l'évaluation des performances d'identification des radionucléides en mode statique, c'est-à-dire lorsque la géométrie de mesure ne varie pas.

Les parties à venir concerneront la détection et l'identification des radionucléides dans des scénarios dynamiques.

¹ Essais instrumentaux.

² Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – MÉTHODE SEMI-EMPIRIQUE POUR L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE DÉTECTION ET D'IDENTIFICATION DE RADIONUCLÉIDES –

Partie 1: Evaluation de la performance des instruments avec l'identification des radionucléides en mode statique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62957 spécifie des exigences relatives à la préparation et à l'injection de données dans le cadre de l'utilisation de la méthode semi-empirique pour l'évaluation des performances de détection et d'identification des radionucléides. Le présent document recommande des approches d'interprétation et de consolidation des résultats, et établit une méthode d'échange de données et de résultats d'analyse.

La présente Partie 1 concerne spécifiquement l'évaluation des performances d'identification des radionucléides en mode statique, c'est-à-dire lorsque la géométrie de mesure ne varie pas (par exemple, avec des dispositifs d'identification des radionucléides en mode démarrage-arrêt).

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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).

IEC 60050-395:2014, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 395: Instrumentation nucléaire: phénomènes physiques, notions fondamentales, instruments, systèmes, équipements et détecteurs*

IEC 62755:2012, *Radiation protection instrumentation – Data format for radiation instruments used in the detection of illicit trafficking of radioactive materials* (disponible en anglais seulement)

ISO 8601:2004, *Représentation de la date et de l'heure*

3 Termes, définitions et termes abrégés

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-395, 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:

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

3.1.1

tableau des réponses acceptables

liste des résultats d'identification des radionucléides attendus donnés par l'instrument ou son logiciel de réexécution

3.1.2

matière de base

matière radioactive contenant un ou plusieurs radionucléides de teneur isotopique connue

3.1.3

tableau de composition des matières de base

liste des radionucléides présents dans chacune des matières de base en quantité suffisante pour une identification par spectrométrie gamma

3.1.4

spectre de base

spectre brut traité utilisé comme entrée pour générer les spectres échantillons

3.1.5

indice de fiabilité

mesure, fournie par l'instrument, de la fiabilité assignée aux résultats d'identification des radionucléides

Note 1 à l'article: Plus la valeur est haute, plus il est probable que le ou les radionucléides, ou le groupe de radionucléides, soient présents.

3.1.6

seuil de fiabilité

niveau minimal de fiabilité des résultats d'identification des radionucléides (c'est-à-dire, valeur minimale de l'indice de fiabilité correspondant) requis pour que la présence d'un isotope soit indiquée

3.1.7

modèle de distorsion

résultat d'une évaluation de la modélisation de la distorsion, généralement sous forme d'une formule décrivant comment les spectres fournis par un modèle d'instrument donné sont affectés par des conditions environnementales non idéales données

3.1.8

modélisation de la distorsion

évaluation de la relation fonctionnelle entre la hauteur d'impulsion des spectres distordus et non distordus obtenus dans des conditions spécifiques, qu'elles soient environnementales, électromagnétiques ou autres

3.1.9

faux négatif

résultat de détection ou d'identification de radionucléides qui n'a pas été enregistré alors qu'il était attendu

3.1.10

faux positif

résultat de détection ou d'identification de radionucléides qui a été enregistré alors qu'il n'était pas attendu

3.1.11

rapport de détection/d'identification

fichier contenant l'ensemble des résultats de détection/d'identification des radionucléides produits par le logiciel de réexécution d'un instrument après injection d'un spectre échantillon

3.1.12**résultat d'identification**

nom d'un radionucléide ou d'une matière agrégée identifié(e); c'est l'un des éléments du rapport d'identification

3.1.13**facteur d'influence**

quantité différente du mesurande, mais qui influe sur le résultat de la mesure

3.1.14**injection**

processus de transmission de données traitées (spectres échantillons) vers le logiciel de réexécution destiné à détecter et/ou identifier des radionucléides

3.1.15**spectre brut**

spectre gamma de la matière de base, obtenu avec une précision statistique élevée par l'instrument évalué

3.1.16**logiciel de réexécution**

logiciel qui utilise l'algorithme analytique de détection et/ou d'identification des radionucléides d'un modèle d'instrument particulier sur l'ordinateur utilisé pour l'injection afin de créer un rapport de détection ou d'identification correspondant à un spectre échantillon injecté

3.1.17**spectre échantillon**

spectre d'amplitude spécifique à un instrument, produit par traitement d'un ou plusieurs spectres de base à injecter

3.1.18**scénario**

description des conditions d'essai

Note 1 à l'article: par exemple:

- présence d'une ou plusieurs matières de base et débit d'équivalent de dose ambiant donné correspondant à chacune;
- temps d'acquisition;
- présence d'un ou plusieurs facteurs d'influence.

3.1.19**évaluation semi-empirique des performances**

processus d'injection des données mesurées traitées dans le logiciel de réexécution spécifique à l'instrument à des fins d'analyse, puis d'interprétation et de consolidation informatisées des résultats

3.1.20**sensibilité**

quotient du taux de comptage total net (cps) par le débit d'équivalent de dose ambiant gamma connu ($\mu\text{Sv/h}$) dû à l'exposition à la matière de base donnée, par des moyens indépendants, obtenu soit par calcul, soit par mesure à l'aide d'un instrument étalonné

3.2 Termes abrégés

ASCII (American standard code for information interchange)	Code américain normalisé pour l'échange d'information
cps	coups par seconde
EMI (ElectroMagnetic Interference)	Brouillage électromagnétique
MCA (MultiChannel Analyser)	Analyseur multicanal
HEU (Highly-Enriched Uranium)	Uranium hautement enrichi
LEU (Low-Enriched Uranium)	Uranium faiblement enrichi
NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials)	Matières radioactives naturelles
PET (Positron Emission Tomography)	Tomographie par émission de positrons
PMMA (PolyMethyl MethAcrylate)	Polyméthacrylate de méthyle
FN	Faux négatif
FP	Faux positif
RGPu (Reactor-Grade Plutonium)	Plutonium destiné aux réacteurs
WGPu (Weapons-Grade Plutonium)	Plutonium destiné à l'armement
XML (eXtensible Markup Language)	Langage de balisage extensible
UTF (Universal character set Transformation Format)	Format de codage de caractères universel

4 Exigences générales

La méthode semi-empirique d'évaluation des performances doit comporter les étapes suivantes:

- caractérisation des matières de base et acquisition des spectres bruts;
- génération des spectres de base à partir des spectres bruts;
- modélisation de la distorsion;
- génération des spectres échantillons conformément aux scénarios prédéfinis;
- injection des spectres échantillons dans le logiciel de réexécution;
- interprétation et généralisation des résultats de l'identification des radionucléides;
- validation.

Les normes pertinentes (par exemple, IEC 62327 [3]) peuvent fournir des lignes directrices pour le choix des matières de base.

Les spectres de base, le tableau de composition des matières de base, le modèle de distorsion et le logiciel de réexécution doivent satisfaire aux exigences du présent document. Le fabricant doit fournir la liste complète de tous les messages (par exemple, les résultats d'identification) pouvant apparaître comme résultat de l'identification des radionucléides, ainsi qu'une explication détaillée de leur signification. Cette liste permet d'interpréter les résultats d'identification. Un ou plusieurs instruments doivent être utilisés pour assurer la validation expérimentale des résultats de l'évaluation semi-empirique des performances.

Une description détaillée du processus et des exigences pertinentes sont données dans les articles ci-après.

NOTE Cette méthode ne rend pas compte des empilements ni de l'augmentation des temps morts dus aux taux de comptage élevés.

5 Caractérisation des matières de base et acquisition des données d'entrée

5.1 Généralités

La méthode semi-empirique d'évaluation des performances exige tout d'abord une caractérisation des matières de base et une acquisition de données d'entrée. Les données d'entrée sont les spectres bruts et les rendements statiques correspondant à l'instrument ou aux instruments évalués.

5.2 Exigences relatives à la caractérisation des matières de base

Toutes les matières de base doivent être analysées à l'aide d'un spectromètre gamma haute résolution afin d'évaluer leur composition en radionucléides. Le spectre de caractérisation doit respecter le format donné dans l'IEC 62755 et être fourni par le fabricant ou l'organisation propriétaire de la matière de base, en même temps que la date d'enregistrement du spectre. Il convient de s'assurer que les matières de base ne présentent pas d'impuretés significatives. Si la matière de base présente des impuretés qui peuvent être identifiées par l'instrument, ces radionucléides peuvent apparaître dans les résultats d'identification du logiciel de réexécution ou de l'instrument et doivent être consignés dans la liste des matières de base. Il convient que des informations relatives aux sources soient fournies et distribuées avec les spectres de base correspondants. Ces informations portent notamment sur des éléments pertinents tels que la masse, la forme, la densité et la composition chimique (par exemple, métal ou oxyde).

5.3 Exigences relatives au tableau de composition des matières de base

Le fabricant ou le propriétaire des matières de base doit fournir un tableau de composition décrivant la composition en radionucléides de chaque matière de base et les activités mesurées et validées de chaque source, ainsi que la date des mesures et l'incertitude de l'activité mesurée. Pour nommer les matières de base contenant d'importantes quantités d'éléments descendants, le nom du radionucléide parent doit être utilisé. L'Annexe A donne un exemple de tableau de composition des matières de base.

5.4 Exigences relatives aux spectres bruts

Les spectres bruts doivent être enregistrés pour chaque matière de base, y compris le rayonnement naturel ambiant, à l'aide de l'instrument évalué. Dans la mesure du possible, il convient d'utiliser le même instrument tout au long de l'enregistrement.

Les conditions d'acquisition des spectres bruts doivent, dans la mesure du possible, être semblables aux conditions opérationnelles statiques. Les matières commercialisées contenant des NORM doivent être utilisées en vrac pour rendre compte des processus de diffusion du rayonnement et d'auto-absorption.

6 Génération des spectres de base à partir des spectres bruts

6.1 Généralités

Le bruit de fond doit être soustrait à tous les spectres, sauf à celui du rayonnement naturel ambiant. Avant cela, les spectres doivent être ajustés pour refléter les différences de durées effectives et la décomposition en tranches doit être effectuée à nouveau pour refléter toute variation de gain. Le spectre corrigé du rayonnement ambiant pour chaque matière de base devient alors le spectre de base. Chaque spectre de base doit être typique pour le modèle utilisé (par exemple, prise en compte des différences de résolution en énergie, discriminateurs de faible niveau et variations de l'étalonnage).

Il convient de donner aux spectres de base des noms conformes à l'Annexe B. Il convient qu'ils respectent le format donné dans l'IEC 62755. Un exemple est donné à l'Annexe B.

L'ensemble des spectres de base doit être défini sur le même nombre de canaux MCA et doit présenter le même étalonnage en énergie.

Si l'instrument évalué est conçu pour identifier un ou des radionucléides blindés, il convient d'obtenir les spectres de base des matières protégées.

Lorsque cela est possible, il convient que le débit d'équivalent de dose ambiant gamma produit par la matière de base à l'endroit de l'instrument évalué soit au moins 10 fois supérieur à celui du bruit de fond.

Les temps d'acquisition des spectres bruts doivent être adaptés de telle sorte que les spectres de base obtenus à partir d'eux contiennent au moins dix fois le nombre de coups contenus dans chaque spectre échantillon prévu pour être généré. Il convient d'appliquer la formule suivante:

$$D_0 T_0 \geq 10 D_s T_s \quad (1)$$

où:

D_0 est le débit de dose produit par la matière de base, à la distance à laquelle le spectre de base a été enregistré;

T_0 est la durée effective du spectre de base;

D_s est le débit de dose maximal à simuler dans les spectres échantillons;

T_s est la durée effective maximale à simuler dans les spectres échantillons.

Il convient de s'assurer que le temps mort est aussi court que possible afin d'éviter l'empilement, sans être inférieur à 2 %. Comme ces spectres bruts sont enregistrés sur de longues périodes, il convient également d'éviter soigneusement les conditions pouvant entraîner des variations de gain.

6.2 Exigences relatives aux éléments de données des spectres de base

Les éléments de données suivants doivent être inclus dans chaque spectre de base:

- <RealTimeDuration>: durée réelle au format "PT1H15M05.2S", "PT75M5.2S" ou "PT4505.2S".
- <LiveTimeDuration>: durée effective au format "PT1H15M05.2S", "PT75M5.2S" ou "PT4505.2S".
- <EnergyCalibration>: informations relatives à l'étalonnage en énergie, que les mesures de spectres peuvent référencer comme applicables à un spectre particulier. Il existe deux méthodes permettant de fournir des informations relatives à l'étalonnage en énergie: sous la forme d'une équation polynomiale du second degré dans laquelle l'élément descendant *CoefficientValues* doit être spécifié, ou d'un tableau dans lequel l'élément descendant *EnergyBoundaryValues* doit être spécifié. Une seule de ces deux méthodes s'applique à un étalonnage en énergie donné. Les éléments descendants *EnergyDeviationValues* et *EnergyValues* fournissent un moyen de rendre compte des différences entre l'énergie prévue par l'équation polynomiale du second degré et l'énergie réelle.
- <DoseRateValue>: valeur du débit d'équivalent de dose ambiant de rayonnement mesurée, en $\mu\text{Sv/h}$.
- <ChannelData>: liste de valeurs dont chacune correspond à un canal d'un spectre. Les valeurs représentent le nombre de coups par canal.
- <Sensitivity>: quotient du taux de comptage total net (cps) par le débit d'équivalent de dose ambiant gamma connu ($\mu\text{Sv/h}$) dû à l'exposition à la matière de base donnée, par des moyens indépendants, obtenu soit par calcul, soit par mesure à l'aide d'un instrument étalonné. Élément parent: <Measurement>.

- **<StartDateTime>**: heure correspondant au début de l'enregistrement des données contenues dans le spectre de base. Il convient que cette information soit au format suivant "2004-11-03T14:36:04.3-06:00", où "-06:00" représente la différence entre le temps universel coordonné et le temps local.

Pour le format de l'heure, le nombre qui précède "H" correspond aux heures de la durée de la mesure, le nombre qui précède "M" correspond aux minutes de la durée de la mesure et le nombre qui précède "S" correspond aux secondes de la durée de la mesure. Cette durée peut être exprimée en heures, minutes et secondes, ou en minutes et secondes, ou en secondes seulement. Conformément à l'ISO 8601.

Il convient également de consigner les éléments de données suivants:

- **<RadDetectorName>**: nom du détecteur de rayonnement.
- **<Nuclide>**: radionucléide utilisé pour obtenir le spectre de base.
- **Comptage des neutrons**: taux de comptage des neutrons enregistré sur toute la durée de la mesure. Il convient de l'enregistrer sous une balise **<GrossCounts>**, comme dans l'exemple suivant:

```
<GrossCounts id="M112N" radDetectorInformationReference="Neutron">
<LiveTimeDuration>PT3.08</LiveTimeDuration>
<CountData>2</CountData>
</GrossCounts>
```

6.3 Exigences relatives à la sensibilité

La sensibilité de l'instrument à la matière de base concernée doit être déterminée avec une incertitude de moins de 20 % (avec un niveau de fiabilité de 95 %).

La position de l'instrument évalué doit être déterminée sur la base des exigences de précision. L'orientation de l'instrument par rapport à la source doit être identique à celle qu'il est prévu d'utiliser sur le terrain. Les spectres bruts doivent être acquis à un taux de comptage auquel les effets de l'empilement sont négligeables.

La sensibilité doit être calculée conformément à la formule (2).

$$Sensitivity = \frac{net_count_rate\ (cps)}{ambient_gamma_dose_equivalent_rate\ (\mu Sv/h)} \quad (2)$$

Les niveaux de sensibilité obtenus pour chaque matière de base doivent être inclus dans les spectres de base, sous l'élément **<Sensitivity>**, comme indiqué à l'Article B.2.

7 Modélisation de la distorsion

7.1 Exigences générales

Pour évaluer la tolérance d'un instrument à des facteurs d'influence spécifiés, il convient de réaliser une modélisation de la distorsion. La distorsion se définit comme la variation de la position des pics du spectre provoquée par des facteurs d'influence. La température, le champ magnétique et un taux de comptage élevé sont des facteurs d'influence affectant couramment l'échelle d'énergie de l'instrument. D'autres facteurs peuvent être modélisés en fonction des besoins.

Le fichier contenant les paramètres du modèle de distorsion doit être nommé et formaté conformément à l'Annexe C.

7.2 Acquisition de paramètres de modèle

Le processus générique de modélisation de la distorsion est le suivant:

- Déterminer les valeurs des centroïdes des pics de référence des spectres dans des conditions d'essai normales³; au moins trois pics, couvrant la quasi-totalité de la plage d'énergie complète, doivent être utilisés pour la modélisation (par exemple, 59,5 keV de ²⁴¹Am, 661,5 keV de ¹³⁷Cs et 2 614 keV de la chaîne de désintégration du ²³²Th).
- Conserver l'ensemble des autres conditions des spectres de référence, exposer l'instrument aux facteurs d'influence et obtenir les spectres d'influence à l'aide du processus utilisé pour déterminer les spectres de référence.
- Déterminer les coefficients de polynôme du modèle de distorsion des variations de pics entre la position moyenne des pics dans les spectres de référence et leur position dans les spectres d'influence, conformément à la description à l'Annexe C.

8 Génération de spectres échantillons

8.1 Scénarios

Les scénarios définissent les conditions d'essais de la méthode semi-empirique d'évaluation des performances. Chaque scénario doit indiquer le temps d'acquisition, le débit d'équivalent de dose individuel de chaque matière de base et du bruit de fond, et la présence de facteurs d'influences, le cas échéant. Chaque scénario doit avoir un nom unique. Les noms de scénarios doivent être utilisés pour nommer les spectres échantillons et les rapports d'identification correspondants. Il convient que les fichiers contenant les scénarios respectent le format donné dans l'Annexe D.

8.2 Groupes de scénarios

L'évaluation des performances de l'instrument peut impliquer un grand nombre de scénarios différents. Les scénarios entretenant un lien logique peuvent être regroupés, un groupe de scénarios présentant l'avantage de permettre la gestion d'un grand volume de données.

Les scénarios d'un même groupe peuvent cibler un aspect spécifique des performances de l'instrument, par exemple sa capacité à identifier les matières radioactives inoffensives ou les matières protégées. Il peut exister un ou plusieurs groupes de scénarios, chacun correspondant aux procédures d'essais spécifiques établies par les normes internationales (par exemple, IEC 62327 [3]).

8.3 Spectres échantillons

Les spectres échantillons sont générés à partir des spectres de base afin de simuler les spectres mesurés qui seraient obtenus dans les conditions spécifiées par le scénario concerné. Pour un même scénario, 100 spectres échantillons individuels au moins doivent être générés afin de garantir la fiabilité statistique des résultats de l'évaluation des performances.

NOTE Le nombre total de coups obtenus à partir des spectres de base définit le nombre maximal de coups pour la création des spectres échantillons.

L'algorithme utilisé pour générer un spectre échantillon doit être conforme au processus décrit à l'Annexe E. Ce processus consiste en une distorsion de spectre, une réduction et une synthèse. Il assure un niveau de variation statistique conforme à ceux attendus dans les spectres mesurés.

³ Conditions établies dans la norme applicable au type de l'instrument.

Chaque spectre échantillon doit respecter le format donné dans l'IEC 62755 (voir exemple du spectre de base à l'Annexe B). Le nom de chaque spectre échantillon doit être unique pour le scénario auquel il correspond, et contenir le nom du scénario et son numéro de séquence.

9 Injection de spectres échantillons

9.1 Exigences générales

Si l'algorithme d'identification des radionucléides de l'instrument nécessite l'injection du spectre échantillon du rayonnement ambiant, il convient que ce spectre soit enregistré et injecté conformément aux exigences.

9.2 Exigences relatives au logiciel de réexécution

Le logiciel de réexécution doit lire les fichiers de spectres échantillons, traiter les données qu'ils contiennent et enregistrer des fichiers de rapport d'identification.

Le logiciel de réexécution ne doit diffuser aucune information propriétaire concernant l'algorithme d'identification des radionucléides d'un instrument.

Le logiciel de réexécution doit:

- a) utiliser un algorithme d'identification des radionucléides (y compris son répertoire de nucléides) équivalent, du point de vue fonctionnel, à l'algorithme intégré à l'instrument;
- b) lire un spectre échantillon et réaliser une identification de radionucléides;
- c) s'exécuter en mode de traitement par lots pour ouvrir et analyser l'ensemble des spectres contenu dans le dossier choisi;
- d) générer un fichier de sortie (par exemple un rapport d'identification) pour chaque spectre échantillon injecté, et l'enregistrer dans le dossier spécifié sous le nom du spectre échantillon analysé mais avec l'extension *.res.

Le logiciel de réexécution doit enregistrer la version de l'algorithme d'identification des radionucléides et les informations minimales nécessaires concernant la configuration de l'algorithme dans un rapport d'identification.

Le logiciel de réexécution doit être autonome, dans la mesure où il contient tous les composants nécessaires à son exécution.

9.3 Exigences relatives au rapport d'identification

Il convient que les données contenues dans le rapport d'identification soient des caractères UTF-8 encapsulés utilisant le langage de balisage extensible (XML). Un exemple de ce fichier est donné à l'Annexe F.

Les noms des radionucléides individuels ou des groupes de radionucléides enregistrés dans les rapports d'identification doivent être identiques à ceux définis dans le tableau des réponses acceptables. Pour plus d'informations sur le tableau des réponses acceptables, voir 9.1 et l'Annexe G.

10 Interprétation et consolidation des données

10.1 Interprétation des données

Les résultats d'identification attendus pour l'ensemble des matières de base doivent être définis pour interprétation des données dans un format lisible par ordinateur conformément à l'Annexe G.

Le tableau des réponses acceptables doit contenir les informations suivantes:

- la composition en radionucléides d'une matière de base donnée, décrite dans le tableau de composition des matières de base;
- les résultats attendus d'identification des radionucléides, c'est-à-dire les résultats qui doivent être consignés pour la matière concernée et ceux qui peuvent être consignés sans être considérés comme des faux positifs;
- la convention de nommage.

L'interprétation des rapports d'identification peut être réalisée conformément au schéma de l'Annexe H. Son paradigme tient compte d'un certain degré de cohérence entre les résultats réels et les résultats attendus de l'identification des radionucléides, ce qui permet d'établir des schémas de score flexibles et d'assurer la correction des erreurs.

L'interprétation du rapport d'identification peut impliquer une analyse des indices de fiabilité associés aux résultats d'identification consignés. L'indice de fiabilité doit être indiqué sur une échelle de 0 à 10. Les résultats d'identification dont l'indice de fiabilité se situe en deçà d'une certaine valeur, ou seuil de fiabilité, peuvent ne pas être consignés par l'algorithme d'identification des radionucléides. L'utilisation de ce seuil de fiabilité peut servir d'outil d'optimisation des performances de l'instrument en aidant l'analyste à équilibrer les taux de faux positifs et de faux négatifs pour des radionucléides spécifiques.

10.2 Rapports d'identification consolidés

Les résultats peuvent être synthétisés selon différentes méthodes. Par exemple, la synthèse des résultats par scénario ou la synthèse en fonction de la capacité de l'instrument à identifier des radionucléides dans des conditions variables constituent deux méthodes possibles. Des exemples de rapports d'identification consolidés sont donnés à l'Annexe I.

Les rapports d'identification consolidés peuvent constituer une aide dans les tâches suivantes (liste non exhaustive):

- déterminer la conformité de l'instrument aux exigences de performances exprimées par le nombre de résultats d'identification corrects et complets pour la ou les matières de base données;
- étudier les performances de résistance de l'instrument aux facteurs d'influence;
- évaluer la vulnérabilité de l'instrument aux variations graduelles des conditions d'essai (par exemple, débit de dose de la ou des matières de base, ou temps d'acquisition);
- soumettre l'instrument à des essais de conformité aux exigences de performances exprimées en unités de faux positifs et/ou de faux négatifs pour le ou les radionucléides individuels ou le ou les groupes de radionucléides;
- optimiser les performances de l'instrument en adaptant sa sensibilité aux radionucléides individuels ou aux groupes de radionucléides, par exemple par configuration d'un ou plusieurs seuils de fiabilité ou par modification des critères d'"identité" correspondants, par exemple les modèles et les lignes gamma requis.

11 Validation

11.1 Généralités

Les données obtenues à l'aide d'une méthode semi-empirique d'évaluation des performances doivent faire l'objet d'une validation expérimentale par un nombre restreint d'essais. Deux groupes d'essais au moins doivent être représentés: la validation des spectres échantillons à partir des spectres mesurés, et la validation du logiciel de réexécution à partir du logiciel intégré à l'instrument.

11.2 Equivalence entre les spectres mesurés et les spectres échantillons

11.2.1 Exigences

Les spectres échantillons doivent faire l'objet d'une validation à partir des spectres mesurés obtenus avec le même instrument, dans les mêmes conditions d'essai, pour garantir leur équivalence.

11.2.2 Méthode d'essai

La validation de l'équivalence doit être réalisée comme suit pour chacun des différents scénarios:

- a) enregistrer les spectres d'essai pour la ou les matières de base, dans les conditions définies par le scénario;
- b) enregistrer le spectre du bruit de fond;
- c) générer les spectres échantillons des matières de base et du bruit de fond, dans les mêmes conditions d'essai;
- d) comparer les spectres générés et acquis et noter les différences significatives. Les éléments à examiner peuvent être le nombre de pics, l'emplacement des pics et la résolution.

11.3 Equivalence entre le logiciel de réexécution et le logiciel intégré à l'instrument

11.3.1 Exigences

Le logiciel de réexécution et le logiciel intégré à l'instrument doivent contenir le même algorithme d'identification des radionucléides. Pour garantir que l'algorithme est identique, il convient d'utiliser la technique indiquée dans la méthode d'essai.

NOTE Des différences entre l'architecture du processeur intégré à l'instrument et celui de l'ordinateur concerné par l'injection peuvent provoquer une variation minime des résultats, due à une différence de précision numérique.

11.3.2 Méthode d'essai

- a) Enregistrer les spectres d'essais de plusieurs matières de base dans différentes conditions d'essai, puis réaliser une identification des radionucléides à l'aide du logiciel intégré à l'instrument.
- b) Charger les données à partir de l'instrument, convertir les spectres dans un format lisible par le logiciel de réexécution et les injecter dans le logiciel de réexécution.
- c) Comparer les résultats produits par l'instrument évalué à ceux obtenus à l'aide du logiciel de réexécution. Noter toute différence.

Annexe A (informative)

Exemple de tableau de composition des matières de base

Le Tableau A.1 suivant est un exemple de tableau de composition des matières de base pour des matières de base données. La liste des principaux radionucléides n'a pas vocation à être prescriptive.

Tableau A.1 – Composition isotopique des matières de base

No	Matière de base	Radionucléides principaux	Activité	Date de la mesure
1	Am-241	Am-241		
2	Bruit de fond	K-40, chaîne de désintégration du Th-232, chaîne de désintégration de l'U-238		
3	Céramique	K-40, chaîne de désintégration du Th-232, chaîne de désintégration de l'U-238		
4	Cs-137	Cs-137		
5	Co-60	Co-60		
7	Sr-90	Sr-90, Y-90		
8	Engrais potassique	K-40		
9	Uranium appauvri	U-238, U-235		
10	Plutonium destiné à l'armement	Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241		
11	Tc-99m	Tc-99m, Mo-99, Tc-99		
12	Se-75	Se-75		
13	Uranium hautement enrichi	U-235, U-238, U-232, U-234		
14	Tl-201	Tl-201, Tl-202		
15	Eu-152	Eu-152, Eu-154		

Annexe B (informative)

Format et convention de nommage pour les spectres de base

B.1 Convention de nommage pour les spectres de base

Les noms des spectres ont valeur normative, tandis que les commentaires sont considérés comme informatifs, voir Tableau B.1.

Tableau B.1 – Convention de nommage pour les spectres de base

Nucléide ou agrégat	Nom de spectre	Commentaires
^{235}U	HEU_description.n42	Uranium hautement enrichi, avec $^{235}\text{U}/\text{U}$ supérieur ou égal à 20 %
$^{235}\text{U}+^{238}\text{U}$	LEU_description.n42	Uranium faiblement enrichi, avec $^{235}\text{U}/\text{U}$ entre 0,7 % et 20 %
^{238}U	DU_description.n42	Uranium appauvri, avec $^{235}\text{U}/\text{U}$ inférieur à 0,7 %
$^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}+^{241}\text{Pu}$	WGPu_description.n42	Plutonium destiné à l'armement, avec $^{239}\text{Pu}/\text{Pu}$ supérieur ou égal à 93 %
$^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}+^{241}\text{Pu}$	RGPu_description.n42	Plutonium destiné aux réacteurs, avec $^{239}\text{Pu}/\text{Pu}$ inférieur à 93 %
^{40}K	Knorm_description.n42	Engrais potassique ou sel de potassium
Chaîne de désintégration de ^{238}U	Unorm_description.n42	Chaîne de désintégration de l'uranium à l'équilibre avec ses descendants (par exemple, spectre de base d'un engrais phosphaté)
Chaîne de désintégration du ^{232}Th	Tnorm_description.n42	Chaîne de désintégration du thorium à l'équilibre avec ses descendants (par exemple, spectre de base de baguettes de soudure, de lentilles optiques ou de manchons à incandescence)
Rayonnement naturel ambiant	Bgnd_description.n42	La contribution des matières radioactives non naturelles au spectre doit être négligeable.
^{nnn}MM	MMnnnx.n42	Tous les autres nucléides, MM étant un paramètre fictif à 2 caractères alphabétiques correspondant au nom du nucléide conformément à [3]. nnn un paramètre fictif à 3 chiffres au maximum et correspondant au numéro atomique du nucléide. Par exemple: Cf252.n42. x est une indication facultative pour nucléides métastables par la lettre "m"
Matière de base protégée et/ou autre	Name_description.n42	Ensemble des matières de base protégées ou autres soumises à évaluation.

[illegible]

Annexe C (informative)

Modélisation de la distorsion

Ci-après est proposé un exemple de modèle de distorsion qui peut être utilisé pour démontrer l'influence de différents facteurs sur les spectres échantillons. La Figure C.1 représente un exemple de spectres distordus et non distordus.

- a) Le nom du fichier qui contient le modèle de distorsion est Distortion.n42.
- b) La mise en forme des données dans le modèle de distorsion respecte le format décrit ci-dessous.

```
<RadInstrumentInformation id="Instrument">
  <RadInstrumentManufacturerName>RIDs R Us</RadInstrumentManufacturerName>
  <RadInstrumentIdentifier>SN 7890A</RadInstrumentIdentifier>
  <RadInstrumentModelName>iRID</RadInstrumentModelName>
  <RadInstrumentClassCode>Radionuclide Identifier</RadInstrumentClassCode>
  <RadInstrumentVersion>
    <RadInstrumentComponentName>Hardware</RadInstrumentComponentName>
    <RadInstrumentComponentVersion>31Z</RadInstrumentComponentVersion>
  </RadInstrumentVersion>
  <RadInstrumentVersion>
    <RadInstrumentComponentName>Software</RadInstrumentComponentName>
    <RadInstrumentComponentVersion>1.1</RadInstrumentComponentVersion>
  </RadInstrumentVersion>
  <Influence>
    <InfluenceName> TemperatureHigh </InfluenceName>
    <InfluenceValue>-0.2 1.003 0.0</InfluenceValue>
    <InfluenceName> TemperatureLow </InfluenceName>
    <InfluenceValue>2.5 -1.04 0.0</InfluenceValue>
  </Influence>
</RadInstrumentInformation>
```

- c) Les noms normalisés <InfluenceName> des facteurs affectant couramment les performances d'un instrument sont les suivants:

- la répétabilité dans le temps de l'étalonnage en énergie, <TimeInstability>;
- l'exposition à des températures de fonctionnement élevées, <TemperatureHigh>;
- l'exposition à de faibles températures de fonctionnement, <TemperatureLow>;
- l'exposition au brouillage électromagnétique, ;
- l'exposition aux vibrations mécaniques, <Vibration>;
- un taux de comptage élevé, <CountRateHigh>.

Pour les facteurs d'influence moins courants, les fabricants d'instruments peuvent spécifier des noms individuels.

- d) Pour une influence donnée, les relations fonctionnelles entre la hauteur d'impulsion des spectres de référence (non distordu) et d'influence (distordu) sont estimées à l'aide du polynôme de second degré:

$$C'_i = k_1 + k_2 \cdot C_i + k_3 \cdot C_i^2 \quad (\text{C.1})$$

où k_1 , k_2 , et k_3 sont des coefficients de polynôme, C' et C sont respectivement les centroïdes des pics des spectres d'influence et de référence. Ces pics sont enregistrés dans

des canaux sur une échelle d'énergie normale⁴. Ces pics sont enregistrés sous la balise "InfluenceValue", comme suit: <InfluenceValue> k1 k2 k3 </InfluenceValue>.

e) Pour trois pics de référence C_1 , C_2 et C_3 , correspondant par exemple à 59,6 keV, 661,6 keV et 2 614 keV, un système de trois formules linéaires est résolu:

$$C'_1 = k_1 + k_2 \cdot C_1 + k_3 \cdot C_1^2 \quad C'_2 = k_1 + k_2 \cdot C_2 + k_3 \cdot C_2^2 \quad C'_3 = k_1 + k_2 \cdot C_3 + k_3 \cdot C_3^2 \quad (C.2)$$

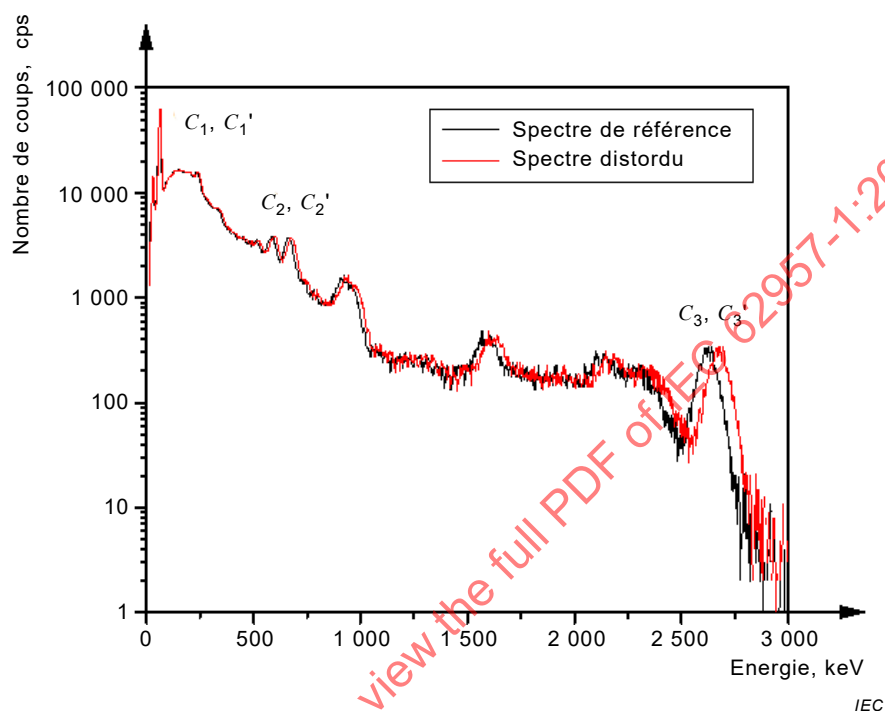


Figure C.1 – Spectres de référence et spectres distordus

⁴ Echelle d'énergie utilisée pour la définition des spectres de base.

Annexe D (informative)

Scénario

Un exemple de fichier de scénario est présenté ci-dessous:

```
<Scenario>
  <BaseMaterialName> Background </BaseMaterialName>
  <BaseMaterialExposure>0.01</BaseMaterialExposure>
  <BaseMaterialName> HEU </BaseMaterialName>
  <BaseMaterialExposure>1.0</BaseMaterialExposure>
  <BaseMaterialName> Ga67 </BaseMaterialName>
  <BaseMaterialExposure>5.0</BaseMaterialExposure>
  <Replication> 100 </Replication>
  <AcquisitionTime> 500 </AcquisitionTime>
  <Influence> TemperatureHigh </Influence>
</Scenario>
```

Les descriptions suivantes s'appliquent:

- a) élément <BaseMaterialName>: nom normalisé de la matière de base incluse dans le scénario concerné;
- b) élément <BaseMaterialExposure>: débit d'équivalent de dose ambiant gamma spécifique, en $\mu\text{Sv/h}$, produit par la matière de base concernée au point de référence de l'instrument évalué;
- c) élément <Replication>: nombre de spectres échantillons à tracer pour le scénario concerné;
- d) élément <AcquisitionTime>: durée effective totale d'un spectre échantillon, en secondes;
- e) élément <Influence>: nom normalisé du ou des facteurs d'influence inclus dans le scénario.

Un groupe de scénarios peut être créé afin d'identifier les scénarios liés entre eux, par exemple les scénarios créés pour appliquer une norme donnée.