

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Radiation protection instrumentation – Backpack-type radiation detector (BRD)
for the detection of illicit trafficking of radioactive material**

**Instrumentation pour la radioprotection – Détecteur de rayonnement de type
sac-à-dos (BRD) pour la détection du trafic illicite des matières radioactives**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 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 more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 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 plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 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 – Backpack-type radiation detector (BRD)
for the detection of illicit trafficking of radioactive material**

**Instrumentation pour la radioprotection – Détecteur de rayonnement de type
sac-à-dos (BRD) pour la détection du trafic illicite des matières radioactives**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XB

ICS 13.280

ISBN 978-2-8322-1486-2

**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.....	6
1 Scope	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions, abbreviations, quantities and units	8
3.1 Terms and definitions.....	8
3.2 Abbreviations.....	10
3.3 Quantities and units	11
4 General test procedure	11
4.1 Nature of test.....	11
4.2 Standard test conditions	11
4.3 Tests performed under standard test conditions	11
4.4 Test performed with variation of influence quantities	11
4.5 Statistical fluctuations	11
4.6 Uncertainties in the measurements	12
4.7 Background radiation during testing	12
4.8 BRD set up	12
4.9 Speed of moving sources and integration time for radionuclide identification	13
4.10 Radiation sources	13
4.11 Functionality tests.....	14
5 General requirements	15
5.1 Mass.....	15
5.1.1 Requirements	15
5.1.2 Method of test.....	16
5.2 Design requirements	16
5.2.1 Requirements	16
5.2.2 Method of test.....	16
5.3 Marking.....	16
5.3.1 Requirements	16
5.3.2 Method of test.....	16
5.4 Switches	16
5.4.1 Requirements	16
5.4.2 Method of test.....	16
5.5 Effective range of measurement – Energy.....	17
5.5.1 Requirements	17
5.5.2 Method of test.....	17
5.6 Effective range of measurement – Count rate	17
5.6.1 Requirements	17
5.6.2 Method of test.....	17
5.7 Operating parameters	17
5.7.1 Requirements	17
5.7.2 Method of test.....	17
5.8 Explosive atmospheres	17
5.8.1 Requirements	17
5.8.2 Method of test.....	18
5.9 Diagnostics	18
5.9.1 Requirements	18

	5.9.2	Method of test.....	18
5.10		Power supply	18
	5.10.1	Requirements	18
	5.10.2	Method of test.....	18
5.11		Data format.....	19
	5.11.1	Requirements	19
	5.11.2	Method of test.....	20
5.12		Data storage	21
	5.12.1	Requirements	21
	5.12.2	Method of test.....	21
5.13		Communication interface.....	21
	5.13.1	Requirements	21
	5.13.2	Method of test.....	21
5.14		User interface	21
	5.14.1	Display	21
	5.14.2	Basic indications.....	22
	5.14.3	Additional indications.....	22
	5.14.4	Indications for BRDs with radionuclide identification capabilities	23
	5.14.5	Indications for BRDs with radionuclide directionality capabilities	23
	5.14.6	Basic functions and controls	23
	5.14.7	Restricted functions and controls	24
6		Radiation detection requirements	24
6.1		False alarm test	24
	6.1.1	Requirements	24
	6.1.2	Method of test.....	24
6.2		Alarm response to photon radiation.....	25
	6.2.1	Requirements	25
	6.2.2	Method of test.....	25
6.3		Alarm response to neutron radiation	26
	6.3.1	Requirements	26
	6.3.2	Method of test.....	26
6.4		Personal radiation protection alarm and response time	27
	6.4.1	Requirements	27
	6.4.2	Method of test.....	27
6.5		Gamma-ray ambient dose equivalent rate indication	28
	6.5.1	Requirements	28
	6.5.2	Method of test.....	28
6.6		Angular dependence and verification of directional indication.....	28
	6.6.1	Requirements	28
	6.6.2	Method of test.....	28
6.7		Over range test.....	29
	6.7.1	Requirements	29
	6.7.2	Method of test.....	29
6.8		Neutron indication in the presence of photons.....	30
	6.8.1	Requirements	30
	6.8.2	Method of test.....	30
6.9		Detection of gradually increasing radiation levels	31

6.9.1	Requirements	31
6.9.2	Method of test.....	31
6.10	Networked area monitors	31
6.10.1	Requirements	31
6.10.2	Method of test.....	32
6.11	Radionuclide identification, when provided.....	32
6.11.1	General Requirements	32
6.11.2	Radionuclide identification library	33
6.11.3	Single radionuclide identification	33
6.11.4	Identification of shielded radionuclides	35
6.11.5	Simultaneous and masked radionuclide identification	35
6.11.6	Radionuclide not in library	36
6.11.7	Low-exposure rate identification	37
6.11.8	Over range characteristics for identification	37
6.11.9	Rejection of natural background variations	38
7	Environmental requirements	39
8	Mechanical requirements.....	39
9	Electromagnetic requirements	40
10	Documentation	40
10.1	Type test report	40
10.2	Certificate	40
10.3	Operation and maintenance manual.....	40
Annex A (informative)	Statistical considerations.....	46
A.1	Poisson distribution.....	46
A.2	Confidence intervals for Poisson distribution.....	46
A.3	False alarm testing	46
A.4	Binomial distribution.....	48
Annex B (informative)	List of expected progeny and expected impurities	50
Annex C (informative)	Summary of fluence rate calculations	52
Annex D (normative)	Calculation ambient dose equivalent rate	54
Bibliography.....		59
Figure 1 – Diagram of testing angles when source passes at an angle of 0° in the horizontal plane (top view). The displayed source movement represents the test configuration at an angle of 0°.		44
Figure 2 – Diagram of the two orthogonal planes (horizontal and vertical planes), the BRD reference point and testing angles		45
Figure 3 – BRD setup and testing source positions for network area monitoring.....		45
Table 1 – Standard test conditions.....		42
Table 2 – Occurrence of functionality tests for environmental testing		42
Table 3 – Occurrence of functionality tests for mechanical testing		43
Table 4 – Emission frequency range		43
Table 5 – Occurrence of functionality tests for electromagnetic testing		44
Table A.1 – One-sided 95 % upper confidence bounds for the false alarm rate for a given number of false alarms observed over a given time period		47

Table A.2 – Necessary sample sizes (n) for different levels (p_0) and number of failures (k).....	49
Table B.1 – List of expected progeny and expected impurities	51
Table C.1 – Examples of fluence rate calculations	53
Table D.1 – Conversion coefficient $h^*_K(10)$ from air kerma, K, to ambient dose equivalent, $H^*(10)$, for mono-energetic and parallel photon beams.....	55
Table D.2 – Probabilities per disintegration for ^{232}Th and ^{226}Ra (in equilibrium) as a function of photon energy	56
Table D.3 – Values of the mass energy-transfer, mass energy-absorption, and mass attenuation coefficients for air	58

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – BACKPACK-TYPE RADIATION DETECTOR (BRD) FOR THE DETECTION OF ILLICIT TRAFFICKING OF RADIOACTIVE MATERIAL

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 62694 has been prepared by subcommittee 45B: Radiation protection instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
45B/781/FDIS	45B/790/RVD

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

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

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

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – BACKPACK-TYPE RADIATION DETECTOR (BRD) FOR THE DETECTION OF ILLICIT TRAFFICKING OF RADIOACTIVE MATERIAL

1 Scope

This International Standard applies to backpack-type radiation detectors (BRDs) that are used for the detection of illicit trafficking of radioactive material. This standard establishes the operational and performance requirements for BRDs. BRDs are portable instruments designed to be worn during use. They may also be used as temporary area monitors in a stand-alone mode.

BRDs detect gamma radiation and may include neutron detection and/or the identification of gamma-ray emitting radionuclides. This standard establishes performance and testing requirements associated with radiation measurements and the expected electrical, mechanical, and environmental conditions while in use.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050 (all parts): *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-393:2003, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 393: Nuclear instrumentation – Physical phenomena and basic concepts*

IEC 60050-394:2007, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 394: Nuclear instrumentation – Instruments, systems, equipment and detectors*

IEC 62706, *Radiation protection instrumentation – Environmental, electromagnetic and mechanical performance requirements*

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

3 Terms and definitions, abbreviations, quantities and units

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-393 and IEC 60050-394 apply, as well as the following.

3.1.1

accuracy

closeness of the agreement between the result of a measurement and the conventionally true value of the measurand

3.1.2 alarm

audible, visual, or other signal activated when the instrument reading exceeds a preset value, falls outside of a preset range, or when the instrument detects the presence of the source of radiation according to a preset condition

[SOURCE: IEC 60050-393:2003, 393-18-03, modified]

3.1.3 background level

radiation field in which there are no external sources present other than those in the natural background at the location of the measurements

3.1.4 backpack-type radiation detector

instrument composed of several radiation detection components that are placed inside a backpack or other similar enclosure with an external user interface or control device

3.1.5 centre line

horizontal or vertical line that describes the geometrical centre of an object

3.1.6 coefficient of variation

V

ratio of the standard deviation s to the arithmetic mean $\bar{x}$ of a set of n measurements x_i given by the following formula:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

[SOURCE: IEC 60050-394:2007, 394-40-14]

3.1.7 energy window

part of the energy spectrum within an upper and lower energy limit

[SOURCE: IEC 60050-394:2007, 394-38-70]

3.1.8 keyhole markup language

KML

is a file format used to display geographic data

Note 1 to entry: For example, see <http://www.opengeospatial.org/standards/kml/>.

3.1.9 fluence

Φ

the quotient of dN by da , where dN is the number of particles incident on a sphere of cross-sectional area da : $\Phi = dN/da$

[SOURCE: IEC 60050-881:1983, 881-04-18]

3.1.10

fluence rate

the *fluence rate*, $\dot{\phi}$, is the quotient of $d\Phi$ by dt , where $d\Phi$ is the increment of the fluence in the time interval dt , thus $\dot{\phi} = \frac{d\phi}{dt}$. The unit of fluence rate is $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$

[SOURCE: ICRU Report 60:1998]

3.1.11

type test

conformity test made on one or more items representative of the production

[SOURCE: IEC 60050-394:2007, 394-40-02]

3.1.12

user interface

software and/or hardware that manages interactions between a user and equipment

3.1.13

variance

σ^2

measure of dispersion, which is the sum of the squared deviation of observations from their mean divided by one less than the number of observations

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

3.2 Abbreviations

AC	alternating current
BRD	backpack-type radiation detector
cps	counts per second
DC	direct current
DU	depleted uranium
ESD	electrostatic discharge
FIFO	first in first out
GPS	global positioning system
HDPE	high density polyethylene
HEU	highly enriched uranium
HPGe	high purity germanium
KML	keyhole markup language
NORM	naturally occurring radioactive material
PMMA	polymethyl methacrylate
RGPu	reactor grade plutonium
WGPu	weapons grade plutonium
XML	eXtensible Markup Language

3.3 Quantities and units

In the present standard, units of the International System (SI) are used¹. The definitions of radiation quantities are given in IEC 60050-393 and IEC 60050-394.

Nevertheless, the following units may also be used:

- for energy: electron-volt (symbol: eV), $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- for time: years (symbol: y), days (symbol: d), hours (symbol: h), minutes (symbol: min);
- for distance: centimetre (symbol: cm), millimetre (symbol: mm), kilometre (symbol: km);

Multiples and submultiples of SI units will be used, when practicable, according to the SI system.

4 General test procedure

4.1 Nature of test

The tests in this standard are to be considered type tests, unless otherwise stated.

4.2 Standard test conditions

Except where otherwise specified, the tests in this standard shall be performed under the standard test conditions given in Table 1.

4.3 Tests performed under standard test conditions

For these tests, the value of temperature, pressure, relative humidity and gamma and neutron background at the time of the test shall be recorded. Values should be within the standard test conditions given in Table 1.

4.4 Test performed with variation of influence quantities

For those tests intended to determine the effects of variations in an influence quantity (e.g., temperature, humidity), all other influence quantities should be maintained at the standard test conditions given in Table 1 unless otherwise specified in the applicable test method.

4.5 Statistical fluctuations

For tests involving the use of radioactive sources to verify susceptibility to an environmental, electromagnetic, or mechanical condition the ambient dose equivalent rate produced by the sources to verify the BRD response shall be adjusted to reduce the magnitude of the statistical fluctuations.

If the magnitude of the statistical fluctuations of the BRD indication arising from the random nature of radiation alone is a significant fraction of the variation of the indication permitted in the test, then the ambient dose equivalent rate should be increased to ensure that the mean value of such readings may be estimated with sufficient accuracy to demonstrate compliance with the test in question.

It is recommended that the coefficient of variation (V, expressed in percentage) for each nominal mean reading be less than or equal to 12 %. For neutron or photon background measurements, attaining a coefficient of variation to meet this requirement may not be possible. Therefore, testing with neutrons or photons at background levels (i.e., testing

¹ International Bureau of Weights and Measures: The International System of Units, 8th edition, 2006.

without radioactive source present) can be performed even when the coefficient of variation is larger than 12 %.

12 % is from statistical analysis techniques for dosimeter testing and has proven to be a simple way of determining when a group of readings are acceptable for compliance testing. The time interval between readings needs to be sufficiently long (i.e., larger than the integration time of the instrument) to ensure that the readings are statistically independent.

4.6 Uncertainties in the measurements

Unless otherwise stated for a specific quantity, the uncertainties for any measurable quantity (e.g., radiation field) should not exceed 15 % with a coverage factor of $k = 1$.

4.7 Background radiation during testing

Testing shall be performed in an area with a nominal natural radiation background that has only natural variation as defined in Table 1.

The gamma-ray background intensity shall be measured using a pressurized ion chamber or similar environmental radiation measurement device that is calibrated to provide the gamma-ray ambient dose equivalent rate, $\dot{H}^*(10)$. When testing spectrometric BRDs the gamma-ray background shall be characterized using a high resolution gamma-ray spectrometer (e.g., high purity germanium (HPGe) detector). The measured spectra shall be recorded. If the BRD is equipped with neutron detectors, the neutron background should be the natural background and should not be artificially modified during testing. The neutron background at the test location shall be measured and recorded.

The evaluation of the BRD shall be performed without the benefit of any radiation shielding against the natural background, except for that shielding that is part of the instrument.

4.8 BRD set up

The BRD shall be set up based on the manufacturer's specifications including background update mode, if applicable. Once set up for testing, no changes shall be made that could affect the overall response of the BRD. If more than one background update mode is available, testing should be performed in all modes when indicated in the specific clauses under the radiological tests.

When performing the radiological tests in Clause 6, the BRD shall be configured and oriented as it would be used. This may be achieved by using a phantom that would represent the human upper torso. The phantom shall be made of polymethyl methacrylate (PMMA). The phantom dimensions shall be 40 cm wide, 60 cm high and 15 cm thick.

The BRD shall be mounted on a stand or fixture made out of a material that does not have a large hydrogen content (e.g., foam, plastic). It is recommended to use materials such as aluminium for mounting the BRD to prevent possible additional moderation of the neutron source.

The reference point of the BRD should be marked by the manufacturer. If marking is not provided by the manufacturer, the reference point is defined as the imaginary point where the three mutually orthogonal lines that go through the center of the length, width and thickness of the BRD intersect (see Figure 2).

For static and dynamic tests described in Clause 6, the reference point of the BRD shall be positioned 1,5 m from the floor or ground surface. The centreline of the source shall be at the same height as the reference point of the BRD, 1,5 m from the floor or ground surface.

For static tests, the distance between the source and the centreline of the BRD shall be between 1 m and 3 m unless otherwise stated.

For dynamic tests, the line of source movement and detector centreline shall be kept parallel, the distance of closest approach between the source and the reference point of the BRD shall be between 1 m and 3 m unless otherwise stated, see Figure 1.

The phantom is not used when the BRD is evaluated for use as a stand-alone area radiation monitor. Testing as an area radiation monitor is performed if such claim is made by the manufacturer.

When performing the tests in Clauses 7, 8, and 9, the BRD shall not be mounted on a phantom. The BRD-to-source distance and the relative orientation and position between the BRD and the radiation source shall be adjusted to reduce the statistical fluctuations as discussed in 4.5. The testing distance, orientation and position of the BRD with respect to source shall be recorded for these tests. Due to the nature of the tests, there is no need for this standard to specify the BRD-to-source distance, and relative orientation and position between the BRD and the source.

4.9 Speed of moving sources and integration time for radionuclide identification

For static tests, the integration time required to perform a radionuclide identification shall be as specified by the manufacturer or a maximum of 1 min (whichever is the shortest).

During the static tests, the source shall be removed and placed back in the same location between trials. There shall be a 10 s minimum delay between each trial with the source either positioned at a distance where it does not affect the background surrounding the BRD or shielded during the delay.

For dynamic tests, the source or BRD shall be moved in a configuration that provides no shielding around the source other than that required for the specific test. The source speed shall be $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (average walking speed) when tested at a distance of closest approach of 1,5 m, unless otherwise required in a test. If the distance of closest approach, d (expressed in m), is adjusted within 1 m and 3 m then the passage speed, v (expressed in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), shall be adjusted to $v = v_0 \times d/d_0$,

where $v_0 = 1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and $d_0 = 1,5 \text{ m}$.

During the dynamic tests, there shall be a 10 s minimum delay between each trial with the source either positioned at a distance where it does not affect the background surrounding the BRD or shielded during the delay.

NOTE For all dynamic tests, the source or the BRD can be moved relative to each other.

4.10 Radiation sources

Unless otherwise stated, tests involving the use of gamma radiation shall be carried out using ^{137}Cs for gross count measurements and ^{241}Am together with ^{60}Co for radionuclide identification (see Table 1).

The reference source for neutron radiation is ^{252}Cf . The neutron emission rate of the ^{252}Cf source shall be $20\,000 \text{ s}^{-1}$ ($\pm 20\%$) (see Table 1). The unmoderated reference neutron source shall be encapsulated in 1 cm of steel and shielded with 0,5 cm-thick lead in order to attenuate the possible gamma-ray emission from the ^{252}Cf source. The lead shall be placed outside the steel encapsulation. The moderation of the ^{252}Cf is achieved by surrounding the source in the presence of the 1 cm of steel encapsulation and 0,5 cm-thick lead shielding with 4 cm-thick high density polyethylene (HDPE) container (e.g., sphere, cylinder, box).

The sources shall be mounted on a stand or fixture made out of a material that does not have a large hydrogen content (e.g., foam, plastic). It is recommended to use materials such as aluminium for mounting the sources to prevent possible additional scattering and moderation of the neutron source.

The isotopic composition and activity of different naturally occurring radioactive materials (NORM), such as zircon, monazite and allanite, vary widely from sample to sample. Therefore, point sources are used to ensure greater consistency and traceability in performing measurements at different locations and at different times. The approximation of bulk NORM sources is done by surrounding ^{226}Ra and ^{232}Th sources (in equilibrium with their progeny) with 9 cm of polymethyl methacrylate (PMMA) each producing the same ambient dose equivalent rate, see Annex D.

As the ^{241}Am content in plutonium sources varies widely, when testing with WGPu the emission rate of the 60 keV line from ^{241}Am shall be no more than 10 times the emission rate of the 414 keV line for ^{239}Pu (e.g., if the emission rate for ^{239}Pu is 100 s^{-1} then the emission rate for ^{241}Am shall not exceed $1\,000\text{ s}^{-1}$), see Annex C. When needed, copper or cadmium should be used to reduce the contribution from ^{241}Am . The copper or cadmium shielded WGPu source shall be considered the bare WGPu source to be used in all radiological tests that require the use of WGPu.

All radioactive sources used for testing shall be checked for gamma-ray emitting impurities and isotopic composition, using a high purity germanium detector (HPGe), in order to determine the expected correct radionuclide identification by the BRD.

The fluence rate and ambient dose equivalent rate shall be determined using a photon cut-off energy of 40 keV.

When testing with point sources producing an ambient dose equivalent rate close to or below background levels (i.e., $0,05\text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$), the ambient dose equivalent rate shall be calculated as described in Annex D. If parallel beams (i.e., irradiator) are used, the testing laboratory shall describe and record the method used to calculate the ambient dose equivalent rate.

4.11 Functionality tests

For most tests in Clauses 7, 8, and 9 the BRD functionality is evaluated prior to and after the test and in some cases during the test as well. The BRD response after the test (post-test measurement) is compared with that measured prior to the test (pre-test measurement). Therefore, the source location relative to the BRD shall be the same for both the pre-test and post-test.

For BRDs without gamma-ray spectrometry capabilities, the gamma-ray measurements are performed using a ^{137}Cs source, producing an ambient dose equivalent rate of at least $0,2\text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \pm 20\%$ ($k = 1$) at the reference point of the BRD, unless otherwise stated in a test.

For BRDs with gamma-ray spectrometry capabilities, the gamma-ray measurements are performed using ^{241}Am and ^{60}Co sources placed simultaneously in front of the BRD, each source producing an ambient dose equivalent rate of at least $0,1\text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \pm 20\%$ ($k = 1$) at the reference point of the BRD, unless otherwise stated in a test.

The neutron measurements (if applicable) are performed using the moderated ^{252}Cf source with an emission rate of $20\,000\text{ s}^{-1}$ listed in 4.10 unless otherwise stated in a test.

Statistical fluctuations should be considered during these tests, see 4.5.

The pre-test and post-test measurements shall be carried out as follows:

Pre-test:

- a) Record 10 independent gamma count rate or ambient dose equivalent rate readings (if the BRD has a unit-less display record the displayed level).
- b) Verify that the gamma alarm is activated.

- c) If the BRD is equipped with a neutron sensor, verify that the system indicates the presence of a neutron source and record 10 independent neutron count rate readings.
- d) Verify that the neutron alarm is activated.
- e) Calculate the mean and standard deviation of the count rate or ambient dose equivalent rate readings.
- f) If the BRD has radionuclide identification capabilities, collect three spectra using an integration time of 1 min or that stated by the manufacturer (whichever is the shortest, see 4.9) and record the radionuclides identified.

Post-test:

- g) Place the sources in the same location relative to the BRD as for the pre-test.
- h) Record the same information as in the pre-test steps a) through f).
- i) In addition calculate the difference (expressed in percentage) between the post-test measured mean count rate or ambient dose equivalent rate readings and the corresponding values measured in the pre-test.

Acceptance criteria:

The results are acceptable if changes in response between the pre-test and post-test do not exceed:

- ± 15 % relative to the gamma readings pre-test values.
- ± 15 % relative to the neutron readings pre-test values.

For instruments with a unit-less display, the manufacturer shall provide a table to convert the unit-less reading into a gamma and/or neutron response (i.e., count rate, ambient dose equivalent rate). For instruments with a unit-less display, the post-test gamma and neutron response shall not have changed from the pre-test response by more than ± 1 unit.

The complete and correct results for identification at each post-test shall be the same or better than the identification results obtained at the pre-test. For example, if during a pre-test there are complete and correct results in two out of three trials, then the complete and correct results at each post-test point shall be two or more.

Depending on the environmental, mechanical or electromagnetic test, the BRD response during the test can be verified in two different ways, with or without radioactive sources present. When tested using radioactive sources, the BRD response during the test is performed in the same manner as the post-test. When tested without radioactive sources, the BRD response during testing is observed as not to produce any alarm, radionuclide identifications or spurious indication as a result of the environmental, mechanical or electromagnetic test.

NOTE When performing sequential tests (e.g., temperature followed by humidity followed by moisture), trends in the pre-test measurements may indicate degradation in the BRD performance (if source-to-detector distances and geometries are kept the same throughout the tests).

5 General requirements

5.1 Mass

5.1.1 Requirements

The BRD without gamma-ray spectrometry capabilities should weigh less than 10 kg including batteries and external user interface.

The manufacturer shall provide the weight for gamma-ray spectrometry type BRDs.

5.1.2 Method of test

Weigh the BRD together with the external user interface and record the result of the measurement. Review the manufacturer documentation and verify that the weight of the BRD and the external user interface are provided. The results of the verification shall be recorded.

5.2 Design requirements

5.2.1 Requirements

The BRD should be designed to:

- a) Distribute weight, as much as practical, with the heavier side being closer to the wearer's back and the weight distributed as evenly as possible from left to right for good balance,
- b) Be easy to wear, remove, and have adjustable openings around arms, and
- c) Look like a normal backpack to the maximum extent practical.

5.2.2 Method of test

The BRD shall be inspected and the results of the inspection shall be recorded.

5.3 Marking

5.3.1 Requirements

All external controls, displays, and adjustments shall be identifiable according to their functions. External markings on the controls, displays and adjustments shall be easily readable and remain fixed after normal decontamination procedures (e.g., water and mild, non-abrasive detergent). Internal controls needed for operation shall be identified through markings and identification in technical manuals.

5.3.2 Method of test

The BRD as used shall be inspected and the results of the inspection shall be recorded. The decontamination procedure is performed by cleaning the instrument with mild soap and a damp towel and verifying that no marking is removed. Review the technical manuals to identify the internal controls markings.

5.4 Switches

5.4.1 Requirements

Controls and adjustments that affect calibration and alarm settings shall be designed so that access to them is limited to authorized personnel.

Switches and other controls should be designed to ensure that the BRD can be operated properly when the user is wearing gloves while minimizing accidental switch operation.

5.4.2 Method of test

Verify by inspection of the BRD or manufacturer provided documentation that the controls and adjustments that affect calibration and alarm settings are designed so that access to them is limited to authorized personnel.

Three users shall individually operate the BRD, including switching modes and/or performing functions while wearing gloves. Each user shall record whether multiple switches are activated while operating the BRD. For test purposes, insulated gloves (i.e., cold weather protection type gloves) should be used to verify the requirement.

5.5 Effective range of measurement – Energy

5.5.1 Requirements

The effective photon energy response range shall be stated by the manufacturer and should be at least 50 keV to 3 000 keV.

5.5.2 Method of test

Review the manufacturer documentation and verify that the required information is provided. The results of the verification shall be recorded.

5.6 Effective range of measurement – Count rate

5.6.1 Requirements

The manufacturer shall state the measurement range for the gamma-ray ambient dose equivalent rate and/or count rate based on ^{137}Cs (662 keV).

If the BRD has neutron detection capabilities, the manufacturer shall state the measurement range for the neutron count rate based on unmoderated ^{252}Cf .

If the BRD has radionuclide identification capabilities, the manufacturer shall state the maximum gamma-ray ambient dose equivalent rate and/or count rate, based on ^{137}Cs (662 keV), at which the instrument can still perform a radionuclide identification.

5.6.2 Method of test

Review the manufacturer documentation and verify that the required information is provided. The results of the verification shall be recorded.

5.7 Operating parameters

5.7.1 Requirements

The manufacturer shall provide the list of values for the recommended operating parameters that can affect the instrument response (e.g., default alarm thresholds, detector voltage, background update mode, gain, radionuclide library, identification/integration time). The manufacturer provided values shall be used throughout testing.

BRDs with radionuclide identification capabilities shall have a variable acquisition time for static measurement.

The manufacturer shall state if the BRD may be used as a temporary area monitor in a stand-alone mode.

5.7.2 Method of test

Review the manufacturer documentation and inspect the BRD, verify that the required information is provided and that the BRD uses the manufacturer recommended operating parameters. Record the results of the verification.

5.8 Explosive atmospheres

5.8.1 Requirements

The manufacturer shall state whether or not the BRD is certified for use in explosive atmospheres. If certification is claimed, documentation shall be provided. Certification shall be based on IEC 60079-11 or equivalent standard such as UL-913.

5.8.2 Method of test

Inspect documentation provided by the manufacturer. The documentation shall state whether or not the BRD is suitable for use in explosive atmospheres. Verify that a certificate of compliance is provided if the manufacturer claims that the BRD may be used in explosive atmospheres. Record the results of the verification.

5.9 Diagnostics

5.9.1 Requirements

The BRD shall continuously monitor functionality (e.g., gain stabilization, high voltage, count rate), and diagnose malfunctions without user interaction. If a radioactive source (either internal or external) is used to test functionality, the manufacturer shall provide the source location, radionuclide and source activity.

5.9.2 Method of test

Functionality is verified during the test process. Any malfunctions shall be recorded as they are observed including whether the BRD provided information to the user. Review the manufacturer provided documentation and check if a radioactive source (either internal or external) is used to test functionality, record manufacturer provided information about the source location, radionuclide and source activity.

5.10 Power supply

5.10.1 Requirements

- a) The BRD shall have the ability to support a continuous operating time of 8 h without replacing batteries.
- b) If the BRD has spectrometry capabilities, the manufacturer shall specify the number of spectra that can be recorded over the battery life.
- c) The BRD should have the ability to operate from an external power source (AC or DC).
- d) The manufacturer shall state the expected continuous operating time using the recommended batteries and the conditions (i.e., functional and environmental) used to determine this time.
- e) If battery accessibility is required, then the battery compartment shall be accessible without special tools.
- f) The BRD should be equipped with a visible direct indicator of battery life.
- g) Provided battery chargers shall meet appropriate electrical standards, and shall be capable of operating from single phase AC power with voltage between 100 V and 240 V and frequency from 47 Hz to 63 Hz.
- h) Rechargeable-type batteries should be fully recharged within 4 h when starting from an empty charge.
- i) If rechargeable batteries are used, a lamp or similar display shall be available to indicate when the batteries are fully charged.
- j) Setup BRD parameters and stored data shall not be affected by loss of power.
- k) Markings indicating required battery orientation for replacement shall be clearly visible to the user.

5.10.2 Method of test

The following test methods match the list of requirements. Start the test by installing fresh or newly charged batteries.

- a) Turn on the BRD and leave it on for 8 h operating in a nominal background environment. Every hour, expose the BRD to the ^{137}Cs and moderated ^{252}Cf (if applicable) check sources for 1 min and verify that the BRD alarms. If the BRD does not function for the full

8 h, record the elapsed time and whether a low battery indication was provided. Swap or recharge the battery, and repeat the process two more times.

- b) If the BRD has spectrometry capabilities, review the manufacturer provided information specifying the number of spectra that can be acquired and processed over the battery life.
- c) Verify by inspection of the BRD.
- d) Verify by review of the provided manufacturer documentation.
- e) Verify by inspection of the BRD.
- f) Verify by inspection of the BRD.
- g) Verify by inspection of the BRD or manufacturer provided documentation.
- h) Verify by recharging a fully discharged battery. After 4 h verify that the battery is fully charged.
- i) Verify by inspection of the BRD battery charger and by fully charging the BRD battery.
- j) Verify by inspection of the BRD after changing the batteries.
- k) Verify by inspection of the BRD.

5.11 Data format

5.11.1 Requirements

If the BRD has the ability to store data (i.e., data output file), the stored data shall be contained in data sets.

For gamma-only BRDs the stored data shall contain as a minimum:

- a) Manufacturer name
- b) Instrument model
- c) Serial number
- d) Software version
- e) Instrument class (e.g., Backpack)
- f) Gamma detector kind (e.g., Sodium Iodide (NaI(Tl)), Geiger Muller (GM) Tube, polyvinyl toluene (PVT))
- g) Date and time of measurement
- h) Measured background radiation levels (i.e., count rate or exposure rate or ambient dose equivalent rate, or total counts or exposure or ambient dose equivalent with associated measurement time duration as applicable)
- i) Measured gamma-ray radiation levels (i.e., count rate or exposure rate or ambient dose equivalent rate, or total counts or exposure or ambient dose equivalent with associated measurement time duration as applicable)
- j) Gamma-ray alarm indication

In addition, if the BRD has energy window capabilities the stored data shall contain as a minimum:

- k) Measured gamma-ray radiation levels in each energy window (i.e., count rate and/or counts with associated measurement time duration)
- l) Energy window alarm indication

In addition, if the BRD has neutron detection capabilities the stored data shall contain as a minimum:

- m) Neutron detector type (e.g., Helium-3 (^3He), Lithium-Glass)
- n) Background neutron level (i.e. count rate and/or counts with associated measurement time duration, level indication)
- o) Measured neutron radiation levels (i.e., count rate and/or counts with associated measurement time duration)

p) Neutron alarm indication

In addition, if the BRD has radionuclide identification capabilities the stored data shall contain as a minimum:

- q) Background spectrum
- r) Live time and real time for background spectrum
- s) Unprocessed measured spectrum
- t) Live time and real time for measured spectrum
- u) Energy calibration for each background and measured spectrum
- v) Radionuclide identification results
- w) Confidence indication

In addition, if the BRD has geolocation capabilities (e.g., GPS) the data set:

- x) Shall contain the BRD location (latitude/longitude)
- y) May contain the location information in a “KML” type file

In addition, the BRD should store the following data when the instrument is required to provide any of these responses:

- z) Operating modes (e.g., “search” mode and “monitor” mode)
- aa) Operational parameters
- bb) Indication of battery status
- cc) System failures
- dd) Diagnostic results
- ee) Indicate changes in operational status (e.g., alarm, monitoring background, fault, dwell, search)
- ff) Over-range indication for detection
- gg) Indication of background changes that can affect the overall sensitivity of the instrument
- hh) Low-count rate for identification
- ii) High-count rate for identification
- jj) Over-range indication for identification

The output data shall be in an XML N42 format (see IEC 62755).

5.11.2 Method of test

Expose the BRD to the ^{241}Am and ^{60}Co reference sources at a distance where the gamma signal is appreciably strong but not strong enough for the BRD to trigger a gamma alarm. Move the gamma sources closer to the BRD to trigger a gamma alarm. In a similar manner, if the BRD is equipped with a neutron detector, repeat the same procedure with the gamma sources replaced by a moderated reference ^{252}Cf source.

If the BRD has radionuclide identification capabilities and requires the user to start an identification, place the ^{241}Am and ^{60}Co reference sources at a distance where an increase in the gamma signal is detected (a field of at least $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ above background from each source) and perform a 1 min measurement or for a time as stated by the manufacturer (whichever is the shortest).

If the BRD has geolocation capabilities, verify that the actual longitude and latitude is recorded by the BRD.

Verify that all these measurements are recorded in the data set in the correct time sequence. Verify that the data set contains the data elements listed in the requirements. Use XML tools to verify compliance with the IEC 62755 standard. Verify that the XML document containing the data set information validates against the N42 schema (see IEC 62755).

NOTE A validation tool can be found at <https://secwww.jhuapl.edu/n42/Account/LogOn>.

5.12 Data storage

5.12.1 Requirements

If the BRD has the ability to store data, the memory shall be sufficient for storing all the data under alarm conditions over the operating time of the BRD (8 h). When the data storage is full, the new measurement event data should overwrite existing measurement event data. The oldest non-alarming data sets shall be overwritten first (first-in, first-out (FIFO)). When no non-alarming data sets remain, the oldest alarming data set shall be overwritten first (FIFO).

5.12.2 Method of test

Verify by review of the provided manual and inspection of the BRD during test execution.

NOTE Depending on the BRD data storage functionality during background and source measurements, the results of the “power supply” tests could be used to verify the data storage requirements.

5.13 Communication interface

5.13.1 Requirements

If the BRD has the ability to store data, the BRD shall be able to transfer data to an external device, such as a computer. The transfer should be based on a bi-directional port that meets the requirements of Ethernet, USB, wireless, or other electronic means such as a removable media device. Consideration should be given to data security when using wireless data transfer techniques. The communication technique used shall conform to applicable IEEE protocols. Communication protocols shall be described in the technical manual and proprietary formats shall not be used.

The BRD shall be capable of operating independently of any peripheral device or remote station, and it shall be unaffected by any malfunction of a peripheral device.

5.13.2 Method of test

Verify by review of the provided manufacturer documentation and by transmission of the data collected by the BRD under 5.11.2. Record the results of the verification.

To verify that the BRD is capable of operating independently of any peripheral device or remote station, disconnect any peripheral device or remote station during the data collection as described in 5.11.2. Verify that the BRD can be operated as described in the manufacturer provided documentation. Record the results of the verification.

5.14 User interface

5.14.1 Display

5.14.1.1 Requirements

The BRD shall have an external display unit that can be carried by the user. The display shall be readable at least between 150 lux and 10 000 lux.

5.14.1.2 Method of test

The display shall be exposed to 150 lux (–30 %, $k = 1$) and 10 000 lux (+30 %, $k = 1$). The display shall be readable in both low and high light levels by 3 users. Verify that all the indications are readable at 150 lux and 10 000 lux. Expose the BRD to the ^{137}Cs and ^{252}Cf test sources and verify that the alarm indications are visible at 150 lux and 10 000 lux. Record the results of the observations.

5.14.2 Basic indications

5.14.2.1 Requirements

The following indications shall be provided at the user interface:

- a) Detector response (gamma ambient dose equivalent rate and/or count rate and, when provided, neutron count rate).
- b) Battery status.

The manufacturer shall state the update rate for all the indications displayed by the user interface. The gamma and neutron (when provided) ambient dose equivalent rate and/or count rate indication should be updated at a minimum rate of once per second.

5.14.2.2 Method of test

Expose the BRD to the ^{137}Cs and the moderated ^{252}Cf source. The display shall be observed to verify the type of response displayed by the BRD. Review the manufacturer provided documentation to verify the updating rate.

Verify that the battery status is displayed. Record the results of the verification.

5.14.3 Additional indications

5.14.3.1 Requirements

The following shall be automatically displayed at the user interface:

- a) Alarm indication (visual, audible and vibrational), with alarm type (gamma and/or neutron) and level (user selectable).
- b) Changes in state of health (i.e., communication status, detector status, geolocation status, energy stabilization).
- c) Over-range indication.
- d) Changes in radiation fields that can affect the overall instrument response.

The following should be displayed at the user interface:

- e) Ability to display geolocation and detector response data on the same display, when available (e.g., map showing alarm data).

5.14.3.2 Method of test

Displays at the user interface level are verified during testing:

- a) Alarm indication (visual, audible and vibrational, with alarm type (gamma and/or neutron) and level (user selectable)), verified in 6.2 and 6.3
- b) Changes in state of health (i.e., communication status, detector status, geolocation status, energy stabilization), verified throughout radiological test in Clause 6.
- c) Over-range indication, verified in 6.7.
- d) Changes in radiation fields that can affect the overall instrument response capability, verified in 6.9.
- e) When applicable, verify the ability to display geolocation and detector response data on same display by inspection of the manufacturer provided documentation or the BRD.

5.14.4 Indications for BRDs with radionuclide identification capabilities

5.14.4.1 Requirements

The following indications and functions shall be provided when identification capabilities are available:

- a) Radionuclide identification results.

And it should provide the:

- b) Confidence indicator.
- c) Ability to access spectra.

The manufacturer shall provide the update rate for real time (i.e., dynamic) identification measurements.

5.14.4.2 Method of test

Verify that if the BRD has radionuclide identification capabilities the results of the identification and the confidence indicator are displayed. Check that the BRD has the ability to access spectra. Review the manufacturer provided documentation to verify the update rate. Record the results of the verification.

5.14.5 Indications for BRDs with radionuclide directionality capabilities

5.14.5.1 Requirements

The following indications and functions shall be provided when directionality capabilities are available:

- a) Directional pointer

5.14.5.2 Method of test

When directionality capabilities are available, indication and functions for the directional pointer are verified in 6.6.

5.14.6 Basic functions and controls

5.14.6.1 Requirements

The following functions and controls shall be provided at the user interface:

- a) Ability to reset alarms
- b) Ability to mute audible alarms
- c) Ability to go silent (mute radio emissions, acoustical emissions, and perceptible vibrations)
- d) Ability to modify date and time
- e) Ability to reset (reacquire) background if the BRD supports this function
- f) Ability to test the visual or audible alarms without the use of radiation sources

5.14.6.2 Method of test

Verify by inspection of the manufacture provided documentation(s) and by performing the following BRD functions:

- a) Reset alarms
- b) Mute audible alarms
- c) Go silent (mute radio emissions, acoustical emissions, and perceptible vibrations)

- d) Modify date and time
- e) Reset (reacquire) background
- f) Activate the visual and audible alarms without the use of radiation sources

Record the results of the verification.

5.14.7 Restricted functions and controls

5.14.7.1 Requirements

The following information and controls shall be provided through the use of access controls or special commands through the user interface or an external computer:

- a) Access to and control of operating parameters
- b) Access to alarm history
- c) Access to count rate time history profiles including gamma and, when available, neutron radiation
- d) Access to background radiation information, when background measurements are available
- e) Access to alarm selection criteria
- f) Access to the radionuclide library (when radionuclide identification capabilities are provided)

5.14.7.2 Method of test

Verify by inspection of the manufacturer provided documentation(s) and by performing the following BRD actions:

- a) Access the operating parameters to verify requirement
- b) Access the alarm history to verify requirement
- c) Access the count rate time history profiles including gamma and when available, neutron radiation to verify requirement
- d) Access the background radiation information, when available, to verify requirement
- e) Access the alarm selection criteria to verify requirement
- f) Access the radionuclide library (when radionuclide identification capabilities are provided) to verify requirement

Record the results of the verification.

6 Radiation detection requirements

6.1 False alarm test

6.1.1 Requirements

When tested in an area with a stable background (only natural fluctuations) at the levels stated in Table 1, the false alarm rate shall be less than 1 alarm over a period of 1 h.

6.1.2 Method of test

- a) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- b) The reference point of the BRD shall be 1,5 m from the floor or ground surface.
- c) The BRD shall be mounted in front of the phantom, see Figure 1.

- d) Observe the BRD over a period of 10 h in an area that has a stable and controlled background. Record all alarms and radionuclides identified (when applicable) displayed during the 10 h period.
- e) The results are acceptable if there are no more than 5 alarms over the test interval (based on 95 % upper confidence bound for a Poisson distribution, see Annex A).

When applicable, repeat steps a) through e) for all possible BRD background modes of operation.

NOTE The battery may need to be replaced during the test.

6.2 Alarm response to photon radiation

6.2.1 Requirements

An alarm shall be triggered when the measured radiation level is greater than the alarm setting. This requirement shall be verified using bare ^{60}Co , ^{137}Cs and ^{241}Am for angles between 0° to 90° and 270° to 360° in two orthogonal planes (see Figure 1 and Figure 2). Each of these sources shall be moving at a speed of $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (at a distance of closest approach of 1,5 m) and producing a photon fluence rate of $4 \text{ photons}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ ($\pm 5 \%$, $k = 1$) at the reference point of the BRD at the point of closest approach. Alarms shall activate no later than 2 s after the source passes through the point that is closest to the BRD. The response is also acceptable if the gamma alarm is activated before the closest distance is reached.

6.2.2 Method of test

- a) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- b) The reference point of the BRD shall be 1,5 m from the floor or ground surface (same as the source centre).
- c) The BRD shall be mounted on the phantom.
- d) Figure 1 shows the test set up when the BRD is tested in the vertical position.
- e) The BRD is tested with each source moving past the BRD at a distance of closest approach of 1,5 m and a speed of $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- f) The distance of closest approach of the source to the BRD reference point may vary between 1 m and 3 m; the speed of $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ shall be adjusted as described in 4.9 if the distance of closest approach used for the test is other than 1,5 m.
- g) The 0° reference angle of the BRD shall be facing the source, see Figure 1.
- h) The ^{60}Co source shall start its movement from a position where the BRD is not able to detect its presence and then go past the BRD to a position where it is again not able to detect its presence.
- i) The ^{60}Co source shall produce a fluence rate of $4 \text{ photons}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ ($\pm 10 \%$, $k = 1$) at the distance of closest approach between the BRD reference point and the center of the source.

NOTE 1 This photon fluence rate can be achieved by adjusting the source to BRD distance. Annex C gives an explanation of how to achieve the required photon fluence rate. The fluence rate data referenced to air, i.e. without the presence of the phantom.

- j) The BRD shall alarm no later than 2 s after reaching the point of closest approach to the source ($4 \text{ photons}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ photon fluence rate). The response is also acceptable if the gamma alarm is activated before the $4 \text{ photons}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ field is reached.
- k) The BRD alarm shall be reset between each trial, if appropriate.
- l) There shall be a 10 s minimum delay between each trial with the source either positioned at a distance where it does not affect the background surrounding the BRD or shielded during the delay.
- m) Repeat the test for 9 additional trials for a total of 10 trials.

- n) The entire BRD and phantom shall be rotated to the following angles: 45°, 90°, 270° and 315° shown in Figure 1 in the horizontal plane (180° of coverage on the side of the BRD where the phantom is not between the source and the BRD) as well as in the vertical plane, see Figure 2. Steps a) through m) shall be repeated for each angle. The test shall be performed with the backpack positioned vertically and horizontally relative to the ground surface, see Figure 2.

NOTE 2 The tests in the vertical orientation can be performed laying the phantom on flat surface and rotating it relative to the source position.

- o) At each angle the reference point of the BRD shall be used to measure the source-to-detector distance of closest approach. The source-to-detector distance of closest approach shall be kept the same for all angles.
- p) Performance is acceptable if the BRD alarms in 96 out of 100 total trials for each source (this corresponds to a probability between 0,9 and 0,95 with a 95 % confidence interval).

NOTE 3 There is a total of 100 trials per source because for each source the test is composed of 5 angles in the horizontal plane plus 5 angles in the vertical plane, this means a total of 10 angles, and there are 10 trials per angle.

- q) Repeat steps a) through p) for ^{137}Cs and ^{241}Am .

When applicable, repeat steps a) through q) for all possible BRD background modes of operation.

If the BRD has energy window capabilities, the manufacturer provided documentation shall list the energy window settings (i.e., Window Start Energy Values, Window End Energy Values) and the expected alarm indication for the ^{60}Co , ^{137}Cs and ^{241}Am sources. Verify that for each source and angle (steps a) through q)) the expected energy window alarm is triggered. Performance is acceptable if the correct BRD energy windows alarms are triggered in 96 out of 100 total trials for each source.

6.3 Alarm response to neutron radiation

6.3.1 Requirements

If the BRD is equipped with a neutron detector, an alarm shall be triggered when the BRD reference point is exposed to a ^{252}Cf neutron emission rate of $20\,000\text{ s}^{-1}$ ($\pm 20\%$, $k = 1$), at a transient speed of $1,2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, the distance of closest approach shall be 1 m. This requirement shall be verified using moderated ^{252}Cf (see Table 1) for angles between 0° to 90° and 270° to 360° in two orthogonal planes (see Figure 1 and Figure 2). Alarms shall activate no later than 3 s after the source passes through the point of closest approach to the BRD. The response is also acceptable if the neutron alarm is activated before the source reaches the point of closest approach.

6.3.2 Method of test

- a) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- b) The reference point of the BRD shall be 1,5 m from the floor or ground surface (same as the source centre).
- c) The BRD shall be mounted on the phantom.
- d) The BRD is tested with the moderated ^{252}Cf source with an emission rate of $20\,000\text{ s}^{-1}$ ($\pm 20\%$, $k = 1$) moving past the BRD at $1,2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, see 4.10.
- e) The distance of closest approach to the BRD reference point being 1 m.
- f) The 0° reference angle of the BRD shall be facing the source, see Figure 1.
- g) The moderated ^{252}Cf source shall start its movement from a position where the BRD is not able to detect its presence and then go past the BRD to a position where it is again not able to detect its presence.

- h) The instrument shall alarm no later than 3 s of exposure at the point of closest approach to the BRD. The response is acceptable if the neutron alarm is activated before the source reaches the distance of closest approach.
- i) The BRD alarm shall be reset between each trial, if appropriate.
- j) There shall be a 10 s minimum delay between each trial with the source either positioned at a distance where it does not affect the background surrounding the BRD or shielded during the delay.
- k) Repeat the test for 9 additional trials for a total of 10 trials.
- l) The entire BRD and phantom shall be rotated to the following angles: 45°, 90°, 270° and 315° shown in Figure 1 in the horizontal plane (180° of coverage on the side of the BRD where the phantom is not between the source and the BRD) as well as in the vertical plane, see Figure 2. Steps a) through k) shall be repeated for each angle. The test shall be performed with the backpack positioned vertically and horizontally relative to the ground surface, see Figure 2.

NOTE 1 The tests in the vertical orientation can be performed laying the phantom on flat surface and rotating it relative to the source position.

- m) At each angle the reference point of the BRD shall be used to measure the source-to-detector distance of closest approach. The source-to-detector distance of closest approach shall be kept the same for all angles.
- n) Performance is acceptable if the BRD alarms in 96 out of 100 total trials for each source (this corresponds to a probability between 0,9 and 0,95 with a 95 % confidence interval).

NOTE 2 There is a total of 100 trials per source because for each source the test is composed of 5 angles in the horizontal plane plus 5 angles in the vertical plane, this means a total of 10 angles, and there are 10 trials per angle.

When applicable, repeat steps a) through n) for all possible BRD background modes of operation.

NOTE 3 The presence of the phantom will modify the energy spectrum of the neutron source but the source-to-detector distance of closest approach is kept constant during the test.

6.4 Personal radiation protection alarm and response time

6.4.1 Requirements

The instrument shall alarm when it is exposed to an increase in the ambient radiation level greater than the personal protection alarm threshold within 2 s of the step change. The manufacturer should state the alarm threshold value.

6.4.2 Method of test

- a) Verify that the manufacturer states the personal radiation protection alarm threshold value. Record the result of the verification.
- b) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- c) The reference point of the BRD does not need to be 1,5 m from the floor or ground surface, the height of the reference point of the BRD to the floor or ground surface used for the test shall be recorded.
- d) The BRD shall be mounted on the phantom.
- e) Using a ^{137}Cs source, increase the ambient dose equivalent rate at the reference point of the BRD to 30 % above the personal-protection alarm threshold in a period of no more than 1 s. Leave the ^{137}Cs source in front of the BRD for at least 30 s.
- f) Verify that this increase in the radiation field triggered the personal protection alarm in less than or equal to 2 s.
- g) Repeat steps a) through f) for 2 additional trials for a total of 3 trials.
- h) Performance is acceptable if the BRD alarms in less than or equal to 2 s in 3 out of 3 trials.

When applicable, repeat steps b) through h) for all possible BRD modes of operation (e.g., background, identification).

6.5 Gamma-ray ambient dose equivalent rate indication

6.5.1 Requirements

If the BRD provides a gamma-ray ambient dose equivalent rate indication, the difference in the response of the BRD to the reference ambient dose equivalent rate from ^{137}Cs shall not exceed $\pm 30\%$ for ambient dose equivalent rates from $1\ \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ to the manufacturer-stated maximum value of the instrument.

6.5.2 Method of test

- The BRD shall be set up as described in 4.8; the source to BRD distance can be adjusted to achieve the required radiation fields.
- The reference point of the BRD does not need to be 1,5 m from the floor or ground surface, the height of the reference point of the BRD to the floor or ground surface used for the test shall be recorded.
- The BRD shall be mounted on the phantom.
- Use ^{137}Cs to produce an ambient dose equivalent rate of $1\ \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 10\%$, $k = 1$), $50\ \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 10\%$, $k = 1$), and 80% ($\pm 10\%$, $k = 1$) of the manufacturer-stated maximum response at the reference point of the BRD. Use Annex D to determine the ambient dose equivalent rate.
- Record 10 BRD readings at each of the three ambient dose equivalent rates and calculate the mean value and standard deviation.
- The mean ambient dose equivalent rate indicated by the BRD shall be within 30% of each applied ambient dose equivalent rate.

When applicable, repeat steps a) through f) for all possible BRD background modes of operation.

6.6 Angular dependence and verification of directional indication

6.6.1 Requirements

The angular response (i.e., count rate, ambient dose equivalent rate, radiation level) of the BRD shall be provided by the manufacturer for ^{241}Am , ^{137}Cs , and ^{60}Co , and for moderated ^{252}Cf (when the BRD is equipped with a neutron detector). The response of the BRD should be consistent with the manufacturer claim over the entire 360° rotation in the horizontal plane (centerline of the source and BRD, see Figure 1). This requirement shall be tested using ^{241}Am , ^{137}Cs , and ^{60}Co , and moderated ^{252}Cf for neutrons. For each source, the angular response of the BRD in the horizontal plane shall be measured from 0° to 360° in 45° increments.

In addition, if directional indication is provided, each exposure direction shall be indicated on the BRD.

6.6.2 Method of test

- The BRD shall be set up as described in 4.8.
- The reference point of the BRD shall be 1,5 m from the floor or ground surface (same as the source centre).
- The BRD shall be mounted on the phantom.
- The angular response shall be determined by placing each source around the BRD in 45° increments in the horizontal plane with each source placed at a minimum distance of 50 cm.

- e) At each angle the reference point of the BRD shall be used to measure the source-to-detector distance. The source-to-detector distance shall be kept the same for all angles and sources. Record the source-to-detector distance used for the test.
- f) For each of the gamma sources the ambient dose equivalent rate at the reference point of the BRD at the reference angle (0°) should be at least $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 10\%$, $k = 1$) above background. Record the ambient dose equivalent rate used for the test.
- g) The 0° reference angle of the BRD (in the horizontal source plane) shall be facing the source, see Figure 1 and Figure 2. The BRD shall be positioned vertically relative to the ground surface.
- h) Place the ^{241}Am at the 0° reference angle and predetermined source-to-detector distance for at least 30 s. Record 10 BRD readings (e.g., count rate, ambient dose equivalent rate) determine the mean and standard deviation of the response.
- i) For BRDs with directional indication, record the source direction provided by the BRD. Each indicated direction should be within $\pm 15^\circ$ of the actual direction. For those that do not provide a numerical indication of angle, the non-numerical directional indication should be clear and unambiguous. To evaluate the results for these BRDs, divide the area around the BRD into 4 sections. For verification, the $\pm 15^\circ$ tolerance could be taken with respect to the boundaries between the sectors.
- j) The entire BRD and phantom shall be rotated to the following angles: 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° and 315° shown in Figure 1 in the horizontal plane (360° of coverage). Steps a) through i) shall be repeated for all angles.
- k) Compare the average BRD response at each angle and source with that provided by the manufacturer. Perform the measurements and record the results regardless of the documentation provided by the manufacturer.
- l) Repeat steps a) through k) for ^{137}Cs , and ^{60}Co .

To verify the neutron source requirement, place the moderated ^{252}Cf neutron source (see 4.10) with an emission rate of $20\,000 \text{ s}^{-1}$ at a distance of 1 m from the reference point of the BRD and repeat steps a) through c), e), and g) through k) described above.

6.7 Over range test

6.7.1 Requirements

If a BRD is exposed to a radiation field that is greater than the manufacturer-stated maximum ambient dose equivalent rate, an alarm indicating for example “over-range” or “high counts” shall be activated and shall remain activated until the radiation field is reduced or the alarm is reset/acknowledged by the user. If the alarm is reset/ acknowledged by the user without the radiation field being reduced, a visual indication shall be provided indicating that the radiation field is still present and that the BRD is not fully operational.

The time required to return to non-alarm condition after the ambient dose equivalent rate is returned to background levels shall not be greater than 1 min.

6.7.2 Method of test

- a) Verify that the manufacturer states the maximum ambient dose equivalent rate. Record the result of the verification. The test is not performed if the maximum ambient dose equivalent rate is not provided by the manufacturer.
- b) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- c) The reference point of the BRD does not need to be 1,5 m from the floor or ground surface, the height of the reference point of the BRD to the floor or ground surface used for the test shall be recorded.
- d) The BRD shall be mounted on the phantom.
- e) Initiate a monitoring cycle with the BRD operating in a stable background.

- f) Using ^{137}Cs increase the radiation field to 50 % above the manufacturer-stated maximum as measured at the reference point and reference angle (0°) of the BRD (see Figure 1).
- g) The BRD shall alarm and remain in alarm until the radiation field is reduced to the pre-test level. The BRD shall display an “over-range” or “high counts” indication.
- h) Remove the radiation field and measure the time it takes the BRD to return to the pre-test count rate values, verify that this time is within 1 min.
- i) Verify that the over-range display disappears when the radiation field is removed.
- j) The BRD shall alarm and recover successfully in 3 successive trials.

If the alarm can be reset/ acknowledged by the user without the radiation field being reduced, verify that a visual indication is provided indicating that the radiation field is still present and that the BRD is not fully operational while the radiation field is present.

6.8 Neutron indication in the presence of photons

6.8.1 Requirements

Gamma radiation at ambient dose equivalent rates of up to $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ with gamma-ray energies lower than 662 keV shall not trigger the neutron alarm. In addition, the BRD shall be able to detect an increase in neutron radiation while being exposed to the gamma radiation.

NOTE This requirement is not applicable to gamma-only BRDs.

6.8.2 Method of test

- a) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- b) The reference point of the BRD shall be 1,5 m from the floor or ground surface (same as the source centre).
- c) The BRD shall be mounted on the phantom.
- d) Using a ^{137}Cs source, increase the ambient gamma dose equivalent rate by $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 10 \%$, $k = 1$) as measured at the reference point and reference angle (0°) of the BRD (see Figure 1) for a minimum of 30 s.
- e) Record all alarms displayed by the BRD.
- f) Remove the radiation source and allow the BRD to return to normal operation and repeat the test for a total of 3 trials.
- g) Immunity of neutron detectors to gamma radiation is confirmed if no neutron alarms are triggered during the exposure to the gamma radiation. Gamma alarms are allowed.

NOTE The ambient dose equivalent rate increase is above the background level.

- h) Repeat the gamma exposure from steps a) through d), but this time add the moderated ^{252}Cf neutron source while the ^{137}Cs source is present.
- i) Expose the BRD to a moderate ^{252}Cf neutron source with an emission rate of $20\,000 \text{ s}^{-1}$ ($\pm 20 \%$) (see 4.10) moving at a transient speed of $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at a distance of closest approach of 1 m and reference angle (0°) and verify that the alarm activates no later than 3 s of exposure at the point of closest approach to the BRD. The response is acceptable if the neutron alarm is activated before the source passes through the distance of closest approach.
- j) Record all alarms displayed by the BRD.
- k) Remove the gamma and neutron radiation sources and allow the BRD to return to normal operation and repeat the test for a total of 3 trials.
- l) The BRD shall provide a neutron alarm in less than or equal to 3 s and recover successfully in the 3 successive trials. Gamma alarms are allowed.

6.9 Detection of gradually increasing radiation levels

6.9.1 Requirements

The BRD's alarm threshold shall not be affected by slowly increasing radiation levels that may be caused when a wearer is slowly approaching or is being approached by a radiation source. The BRD shall alarm or alert the user that the radiation level has changed. The radiation level change alert shall be visual and/or audible and shall be different than monitoring alarms. The type of alarm shall be user selectable.

6.9.2 Method of test

- a) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- b) The reference point of the BRD shall be 1,5 m from the floor or ground surface (same as the source centre).
- c) The BRD shall be mounted on the phantom.
- d) Allow the BRD to obtain a background.
- e) When the BRD is operational slowly approach a ^{137}Cs source at a speed of $0,12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at a distance closest approach of 1,5 m.
- f) The ^{137}Cs source shall produce an ambient dose equivalent rate of $0,05 \text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) at the reference point and reference angle (0°) of the BRD at the point of closest approach.
- g) The distance of closest approach of the source to the BRD reference point may vary between 1 m and 3 m at the reference angle (0°); the speed of $0,12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ shall be adjusted as describe in 4.9 if the distance of closest approach used for the test is other than 1,5 m.
- h) The source shall start from a position where the BRD is not able to detect its presence and then go past the BRD to a position where it is again not able to detect its presence.
- i) There shall be a 10 s minimum delay between each trial with the source either positioned at a distance where it does not affect the background surrounding the BRD or shielded during the delay.
- j) Return the source to the original position, allow the BRD to stabilize, and repeat the process nine additional times for a total of 10 trials.
- k) The performance is acceptable if the appropriate gamma alarm is activated in less than or equal to 2 s after the source passed through the point of closest approach to the BRD or the user is alerted that the background radiation level has changed. The response is also acceptable if the gamma alarm is activated before the $0,05 \text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ field is reached. Performance is acceptable if the BRD alarms in 10 out of 10 total trials.
- l) If the BRD has neutron capabilities, repeat steps a) through e), and h) through k) using the moderated ^{252}Cf neutron source with an emission rate of $20\,000 \text{ s}^{-1}$ ($\pm 20 \%$) (see 4.10) at a distance of closest approach of 1 m from the reference point and reference angle (0°) of the BRD. For acceptance, the appropriate neutron alarm shall activate within 3 s after reaching the distance of closest approach between the BRD and the source, or the user is alerted that the background radiation level has changed. The response is acceptable if the neutron alarm is activated before the distance of closest approach is reached.

When applicable, repeat steps a) through l) for all possible BRD background modes of operation.

6.10 Networked area monitors

6.10.1 Requirements

The BRD may be designed to individually and collectively determine the location of a radioactive source and communicate this information to a central control station to permit large area monitoring. If this capability is provided, the manufacturer shall specify the maximum distance between each BRD and estimated radiation levels for alarm activation

based on the maximum distance stated by the manufacturer (typically 6 m) based on a transient speed of $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and a BRD layout as shown in Figure 3.

6.10.2 Method of test

- a) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- b) The reference point of the BRDs shall be 1,5 m from the floor or ground surface (same as the source centre).
- c) Arrange a series of BRDs (without the use of the phantom) using the manufacturer-provided instructions.
- d) If manufacturer instructions are not provided, for evaluation purposes, an array of 3 BRDs should be set in a triangular form with a distance of 6 m between each BRD.
- e) Divide the monitored area as shown in Figure 3.
- f) Testing shall be performed using ^{241}Am , ^{137}Cs , and ^{60}Co each producing a photon fluence rate of $4 \text{ photons}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ ($\pm 5 \%$, $k = 1$) at the reference point of the BRDs when placed at the centre of the BRD array.
- g) If the BRD is equipped with a neutron detector, testing shall be performed using the moderated ^{252}Cf source with an emission rate of $20\,000 \text{ s}^{-1}$ ($\pm 20 \%$) as described in 4.10.
- h) Pass each source through the transversal lines (Lines 1 through 8) as shown in Figure 3 at a transient speed of $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. There shall be 1 trial per source per line.
- i) Verify that the system array indicates:
 - 1) the presence of the source as the source transits through the monitored area,
 - 2) the source's relative position as it passes through the array.
- j) If the BRD has real time (i.e., dynamic) radionuclide identification capabilities, verify that the system array indicates the radionuclides identified as the source transits through the monitored area.
- k) The source presence and location should be displayed at a control station. Record the alarms, source relative positions to the array and radionuclides identified for each source moving through each transversal line (Lines 1 through 8 in Figure 3).

6.11 Radionuclide identification, when provided

6.11.1 General requirements

6.11.1.1 Requirements

If the BRD is designed to identify radionuclides:

- a) An indication shall be displayed or otherwise provided (e.g., “not identified”, “unknown”) if a radionuclide cannot be identified.
- b) The BRD shall provide guidance to the user if its ability to identify radionuclides is compromised by high (e.g., “too high”) or low (e.g., “too low”) count rates.
- c) The manufacturer shall state if the BRD can perform real time (i.e., dynamic) radionuclide identification while sources and/or the BRD are moving.
- d) An indication should be displayed as to the confidence of the radionuclides identified.
- e) If the confidence indicator is displayed, the manufacturer shall state the basis of the value to indicate radionuclide identification confidence.

6.11.1.2 Method of test

The test methods for each of the requirements lists above are as follows:

- a) Indication that a radionuclide cannot be identified is verified through the performance of 6.11.6.

- b) Indication that the ability to identify radionuclides is compromised by low count rates is verified through the performance of 6.11.7. Indication that the ability to identify radionuclides is compromised by high count rates is verified through the performance of 6.11.8.
- c) Verify through review of the manual, and record the results.
- d) Verify through review of the manual and/or BRD display, and record the results.
- e) Verify through review of the manual, and record the results.

6.11.2 Radionuclide identification library

6.11.2.1 Requirements

The manufacturer shall state the radionuclides that the BRD can identify. As a minimum the BRD library shall contain HEU, DU, WGPu, ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{241}Am , ^{226}Ra (in equilibrium with progeny), ^{232}Th (in equilibrium with progeny), ^{40}K , ^{67}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I , and ^{201}Tl .

NOTE IAEA Safety Guide No. RS-G-1.9 contains a possible list of radionuclides and categories.

For this standard the isotopic composition for the HEU, WGPu, and DU sources shall meet the following conditions:

- HEU shall have at least 90 % ^{235}U ,
- DU shall have no more than 0,4 % ^{235}U ,
- WGPu shall have no more than 6,5 % ^{240}Pu and no less than 93 % ^{239}Pu .

6.11.2.2 Method of test

Verify that the requirement is met by review of manufacturer's provided information.

6.11.3 Single radionuclide identification

6.11.3.1 Requirements

The BRD shall correctly identify bare HEU, DU, WGPu, ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{241}Am , ^{226}Ra (in equilibrium with progeny) and ^{232}Th (in equilibrium with progeny) in 1 min or in the time as specified by the manufacturer, whichever is the shortest.

If the BRD can perform real time (i.e., dynamic) radionuclide identification while sources and/or the BRD are moving, it shall correctly identify bare HEU, DU, WGPu, ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{241}Am , ^{226}Ra (in equilibrium with progeny) and ^{232}Th (in equilibrium with progeny) while the sources are moving past the BRD at a speed of $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at a distance of closest approach of 1,5 m.

6.11.3.2 Method of test – static mode

- a) Record the static measurement time specified by the manufacturer.
- b) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- c) The reference point of the BRD shall be 1,5 m from the floor or ground surface (same as the source centre).
- d) The BRD shall be mounted on the phantom.
- e) The ambient dose equivalent rate produced by each source shall be calculated using Annex D.
- f) Testing is performed with one source at a time.
- g) Position the BRD and test phantom where the ambient dose equivalent rate produced by the source is $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) at the reference point and reference angle (0°) of the BRD and initiate a radionuclide identification measurement. The integration time

required to perform the identification shall be as specified by the manufacturer or 1 min whichever is the shortest.

- h) The source to detector distances to achieve the desired ambient dose equivalent rate shall be no less than 1 m and not greater than 3 m.
- i) The test shall consist of 10 consecutive trials for each source listed in 6.11.3.1 (requirement clause). The source shall be removed and placed back in the same location between trials. There shall be a 10 s minimum delay between each trial with the source either positioned at a distance where it does not affect the background surrounding the BRD or shielded during the delay.
- j) The performance is acceptable when the BRD correctly identifies the radionuclide in 10 out of 10 consecutive trials for each source, see Annex B. If naturally occurring radioactive materials (NORM) such as ^{40}K , ^{226}Ra and/or ^{232}Th are identified during a controlled test, actions should be taken to reduce or eliminate the source of radiation prior to continuing the test. If not possible, identification of NORM is acceptable.

NOTE 1 The ambient dose equivalent rate produced by the source is measured or calculated above the natural background and outside the source shielding container (e.g., steel, PMMA) or source encapsulation.

NOTE 2 Testing is performed with one source at a time.

6.11.3.3 Method of test – dynamic mode (if applicable)

- a) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- b) The reference point of the BRD shall be 1,5 m from the floor or ground surface (same as the source centre).
- c) The BRD shall be mounted on the phantom.
- d) The BRD is tested with each source moving past the BRD at $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at a distance of closest approach of 1,5 m.
- e) The distance of closest approach of the source to the BRD reference point may vary between 1 m and 3 m; the speed of $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ shall be adjusted as described in 4.9 if the distance of closest approach used for the test is other than 1,5 m.
- f) The ambient dose equivalent rate produced by each source is $0,05 \text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) (independent of the background) at the reference point and reference angle (0°) at the point of closest approach to the BRD.
- g) The ambient dose equivalent rate produced by each source shall be calculated as described in Annex D.
- h) The source shall start its movement from a position where the BRD is not able to detect its presence and then go past the BRD to a position where it is again not able to detect its presence.
- i) There shall be a 10 s minimum delay between each trial with the source either positioned at a distance where it does not affect the background surrounding the BRD or shielded during the delay.
- j) The test shall consist of 10 consecutive trials for each source listed in 6.11.3.1 (requirement clause).
- k) The performance is acceptable when the BRD correctly identifies the radionuclide in 10 out of 10 consecutive trials for each source, see Annex B. If NORM radionuclides such as ^{40}K , ^{226}Ra and/or ^{232}Th are identified during a controlled test, actions should be taken to reduce or eliminate the source of radiation prior to continuing the test. If not possible, identification of NORM is acceptable.

When applicable, repeat steps a) through k) for all possible BRD background modes of operation.

NOTE 1 The ambient dose equivalent rate produced by the source is measured or calculated above the natural background and outside the source shielding container (e.g., steel, PMMA) or source encapsulation.

NOTE 2 Testing is performed with one source at a time.

6.11.4 Identification of shielded radionuclides

6.11.4.1 Requirements based on shielding

The BRD shall correctly identify ^{60}Co and ^{137}Cs when the source is shielded by steel and PMMA to be configured to be equivalent to a steel box behind a brick wall in 1 min or in the time as specified by the manufacturer, whichever is the shortest. For testing purposes, the radionuclides shall be surrounded by 1 cm of steel and 10 cm of PMMA.

If the BRD can perform real time (i.e., dynamic) radionuclide identification while sources and/or the BRD are moving, it shall correctly identify these shielded sources while moving past the BRD at a speed of $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at a distance of closest approach of 1,5 m.

The ambient dose equivalent rate produced by each source outside the shielding container is $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) at the reference point and reference angle (0°) of the BRD.

6.11.4.2 Method of test – static mode

Repeat the test described in 6.11.3.2 for the shielded sources.

6.11.4.3 Method of test – dynamic mode

Repeat the test described in 6.11.3.3 for the shielded sources.

6.11.4.4 Requirements for medical radionuclides

The BRD shall correctly identify ^{67}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I , and ^{201}Tl when surrounded by 8 cm of PMMA or similar plastic to simulate in-vivo measurements in 1 min or in the time as specified by the manufacturer, whichever is the shortest.

If the BRD can perform real time radionuclide identification while sources and/or the BRD are moving, it shall correctly identify these medical sources while moving past the BRD at a speed of $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at a distance of closest approach of 1,5 m.

The ambient dose equivalent rate produced by each source outside the PMMA container is $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) at the reference point and reference angle (0°) of the BRD.

6.11.4.5 Method of test – static mode

Repeat the test described in 6.11.3.2 for the medical sources.

6.11.4.6 Method of test – dynamic mode

Repeat the test described in 6.11.3.3 for the medical sources.

6.11.5 Simultaneous and masked radionuclide identification

6.11.5.1 Requirements

The BRD shall have the ability to correctly identify more than one radionuclide simultaneously and a source of interest when combined (“masked”) with other radionuclides in 1 min or in the time as specified by the manufacturer, whichever is the shortest. The target source shall produce an ambient dose equivalent rate of $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ at the reference point and reference angle (0°) of the BRD while the masking sources shall produce an ambient dose equivalent of $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ at the reference point of the BRD. The source combinations used for the test shall be the following:

$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{HEU}$

$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{WG Pu}$

$^{99m}\text{Tc} + \text{HEU}$

$^{131}\text{I} + \text{WG Pu}$

If the BRD can perform real time (i.e., dynamic) radionuclide identification while sources and/or the BRD are moving, it shall correctly identify these source combinations while moving past the BRD at a speed of $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at a distance of closest approach of 1,5 m.

6.11.5.2 Method of test – static mode

To verify these requirements, expose the BRD to the following source combinations:

$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{HEU}$

$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{WG Pu}$

$^{99m}\text{Tc} + \text{HEU}$

$^{131}\text{I} + \text{WG Pu}$

For these combinations the target sources are HEU and WG Pu.

The ambient dose equivalent rate from the masking sources shall be $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$). The ambient dose equivalent rate from the target source shall be $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$). Each ambient dose equivalent rate shall be measured at the reference point and reference angle (0°) of the BRD. The target source shall not be shielded by the masking material. The ambient dose equivalent rate shall be calculated as described in Annex D.

The ^{226}Ra and ^{232}Th (in equilibrium with their progeny) sources shall be surrounded by 9 cm of PMMA to simulate bulk material (each source producing a field of $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ outside the PMMA container). The ^{99m}Tc and ^{131}I sources shall be surrounded by 8 cm of PMMA to simulate in-vivo measurements (producing a field of $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ outside the PMMA container).

Repeat the test described in 6.11.3.2 for these source combinations.

Remove the target sources and repeat the tests for masking material only.

NOTE 1 ^{232}Th can be replaced by ^{232}U (older than 20 years).

NOTE 2 ^{226}Ra and ^{232}Th point sources are used for this test to ensure reproducibility in the test process.

6.11.5.3 Method of test – dynamic mode

Set up the source combinations as described in 6.11.5.2. Repeat the test described in 6.11.3.3 for these source combinations.

6.11.6 Radionuclide not in library

6.11.6.1 Requirements

The BRD shall indicate “not in library” or “unknown” when exposed to a radioactive source that does not produce photo-peaks and when exposed to a radionuclide that is not in the library.

6.11.6.2 Method of test

- The BRD shall be set up as described in 4.8.
- The reference point of the BRD shall be 1,5 m from the floor or ground surface (same as the source centre).
- The BRD shall be mounted on the phantom.

- d) To verify the requirement for sources without photo-peaks, it is recommended that the test be performed using a $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ source in an assembly that produces Bremsstrahlung radiation.
- e) The ambient dose equivalent rate at the reference point and reference angle (0°) of the BRD should be $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$).
- f) The integration time required to perform the identification shall be 1 min or as specified by the manufacturer.
- g) The performance is acceptable when the BRD provides a message such as “not in library” or “unknown”, and alarms in 10 out of 10 consecutive trials. The identification of “Bremsstrahlung” is acceptable.
- h) Repeat the steps a) through g) at the same ambient dose equivalent rate using a radionuclide that produces photo-peaks but that it is not in the library. Expose the BRD to a radionuclide that is not present in the library and verify that it provides an indication such as “not identified” or “unknown” (e.g., radionuclides that may be used for this test are ^{54}Mn or $^{166\text{m}}\text{Ho}$). A radionuclide may be temporarily “removed” from the library to perform this test. The ambient dose equivalent rate shall be calculated as described in Annex D.

6.11.7 Low-exposure rate identification

6.11.7.1 Requirements

The BRD shall not identify a radionuclide that is not present when operated in a stable and low ambient radiation background (less or equal to $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ is preferred but not required). An indication shall also be provided stating if the BRD ability to identify radionuclides is compromised by low count rates (e.g., “count longer”, “get closer”, “field too low”, bar-graph), in this case the radiation field may be “too low” to perform an identification.

6.11.7.2 Method of test

- a) Acquire a background spectrum at the test location using a high energy resolution detector to verify that no radiation sources are present, measure and record the background ambient dose equivalent rate.
- b) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- c) The reference point of the BRD shall be 1,5 m from the floor or ground surface (same as the source centre).
- d) The BRD shall be mounted on the phantom.
- e) Perform a static radionuclide identification with the BRD in a stable background with no radiation sources present as described in 4.9. The BRD integration time required to perform the identification shall be 1 min or as specified by the manufacturer.
- f) The BRD shall not identify unexpected radionuclides. In addition, verify that the BRD indicates that the count rate is too low to perform an identification. The indication may consist of a statement such as “field too low”, “count longer” or “get closer.”
- g) The test shall consist of 10 trials.
- h) The performance is acceptable when the BRD does not identify a radionuclide in 10 out of 10 consecutive trials.
- i) If NORM radionuclides such as ^{40}K , ^{226}Ra or ^{232}Th are identified, actions should be taken to reduce or eliminate the source prior to performing the test. If the radionuclide is expected and cannot be removed, the test result shall be acceptable when the expected naturally occurring radionuclide is identified.

6.11.8 Over range characteristics for identification

6.11.8.1 Requirements

The manufacturer shall state the maximum gamma-ray ambient dose equivalent rate ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) relative to ^{137}Cs for which the BRD can perform a radionuclide identification. An indication shall also be provided stating if the BRD ability to identify radionuclides is

compromised by high count rates (e.g., “move away”, “field too high”, bar-graph), in this case the radiation field may be “too high” to perform an identification.

6.11.8.2 Method of test

- a) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- b) The reference point of the BRD does not need to be 1,5 m from the floor or ground surface, the height of the reference point of the BRD to the floor or ground surface used for the test shall be recorded.
- c) The BRD shall be mounted on the phantom.
- d) Increase the ambient dose equivalent rate using ^{137}Cs to the maximum exposure rate for radionuclide identification as stated by the manufacturer at the reference point and reference angle (0°) of the BRD.
- e) Position a ^{133}Ba source to produce an ambient dose equivalent rate of $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) at the reference point and reference angle (0°) of the BRD. The ambient dose equivalent rate shall be calculated as described in Annex D.
- f) Perform a static radionuclide identification as described in 4.9. The BRD integration time required to perform the identification shall be 1 min or as specified by the manufacturer.
- g) The test shall consist of 10 trials.
- h) This test is acceptable if the BRD correctly identifies ^{133}Ba in 10 out of 10 consecutive trials; the identification of ^{137}Cs is allowed but not required as part of the correct identification.
- i) In addition, verify that the BRD indicates that the count rate is too high to perform an identification. The indication may consist of a statement such as “field too high” or “move away.”
- j) If NORM radionuclides such as ^{40}K , ^{226}Ra or ^{232}Th are identified, actions should be taken to reduce or eliminate the source prior to performing the test. If the radionuclide is expected and cannot be removed, the test result shall be acceptable when the expected naturally occurring radionuclide is identified.

6.11.9 Rejection of natural background variations

6.11.9.1 Requirements

The purpose of this function is to reduce alarms caused by sudden changes in the natural background level that may occur upon entering a building, walking on a granite pavement, or coming into close proximity of a ceramic tile wall.

This function shall not reduce the BRD detection capability. The user shall have the option to disable this function.

6.11.9.2 Method of test

- a) Verify that the background rejection capability function can be disabled by the user. Record the result of the verification.
- b) The BRD shall be set up as described in 4.8.
- c) The reference point of the BRD shall be 1,5 m from the floor or ground surface.
- d) The BRD shall be mounted on the phantom.
- e) The ambient dose equivalent rate shall be measured at the reference point and reference angle (0°) of the BRD.
- f) Expose the BRD to “low” background condition (background level at the test location, preferably less or equal to $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \pm 50 \%$ ($k = 1$)) during the warm-up (and/or start-up) time stated by the manufacturer, no radioactive sources present.
- g) Within 2 s, increase the ambient background to a “high” background condition ($0,3 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \pm 30 \%$ ($k = 1$)) at the reference point of the BRD).

- h) No alarm shall occur and no radionuclides shall be identified, other than indications of NORM associated with background, in 10 out of 10 trials.
- i) The “high” background condition shall be achieved by using a source combination composed of ^{226}Ra , and ^{232}Th (in equilibrium with their progeny) surrounded by 9 cm of PMMA or by using granite slabs or other similar bulk material.
- j) While in the high background condition, verify that the BRD response capability remains unchanged by repeating 6.2 using ^{241}Am and ^{137}Cs (separately) at the reference angle (0°) in the vertical orientation (i.e., tested at only one angle).

When applicable, repeat steps b) through j) for all possible BRD background modes of operation.

7 Environmental requirements

The BRD shall comply with IEC 62706 requirements for the class “body-worn” or “portable” devices as applicable concerning the following:

- **Ambient temperature:** from -20°C to 50°C (portable).
- **Temperature shock:** from -20°C to 50°C (portable). The manufacturer shall provide the recovery time. During recovery time the instrument shall indicate that the instrument is not operational. If the manufacturer does not provide the recovery time the BRD shall be tested after 15 min.
- **Relative humidity:** up to 93 % RH at 40°C .
- **Low/high temperature start-up:** -20°C and 50°C (portable).
- **Dust and moisture resistance:** IP54 (body worn) (IEC 60529).

Instrument functionality is verified as described in 4.11. The BRD is set up as described in 4.8. Testing needs to be carried out using the test methods described in IEC 62706 with the functionality tests performed as listed in Table 2.

The BRD shall not be mounted on a phantom.

8 Mechanical requirements

The BRD shall comply with IEC 62706 requirements for the class “body-worn” devices as applicable concerning the following:

- **Vibration:** random vibration at $0,01\text{ g}^2\cdot\text{Hz}^{-1}$ (acceleration spectral density) using 5 Hz and 500 Hz for the frequency endpoints for a period of 1 h in each of three orthogonal orientations (IEC 60068-2-64 Transportation Category 1b).
- **Microphonics/Impact:** low intensity sharp contacts at energies of 0,2 J (IEC 60068-2-75).
- **Mechanical shock:** 10 shock pulses of 50 g peak acceleration, each applied for a nominal 11 ms in each of three mutually orthogonal axes (IEC 60068-2-27).
- **Drop:** the BRD and the control device (if attached) shall continue to function correctly after being dropped from a height of 100 cm onto a concrete surface on each of their six sides. If the BRD control device is detached from the BRD, the control device shall also continue to function correctly after being dropped from a height of 100 cm onto a concrete surface on each of its six sides. The test method should be agreed upon by the manufacturer and testing laboratory.

Instrument functionality is verified as described in 4.11. The BRD is set up as described in 4.8. Testing needs to be carried out using the test methods described in IEC 62706 with the functionality tests performed as listed in Table 3.

When performing these tests, the BRD shall not be mounted on a phantom.

9 Electromagnetic requirements

The BRD shall comply with IEC 62706 requirements for the class "body-worn" devices as applicable concerning the following:

- **Electrostatic discharge:** Level 3 in IEC 61000-4-2.
- **Radio frequency:** Level X (with X = 50) from 80 MHz to 1 000 MHz and Level 3 from 1,4 to 6 GHz in IEC 61000-4-3.
- **Radiated emissions:** see Table 4.
- **Magnetic field:** Level 5 in IEC 61000-4-8.
- **Conducted immunity:** Level 3 in IEC 61000-4-6, only applicable if the BRD is equipped with cables longer than 1 m.

Instrument functionality is verified as described in 4.11. The BRD is set up as described in 4.8. Testing needs to be carried out using the test methods described in IEC 62706 with the functionality tests performed as listed in Table 5.

When performing these tests, the BRD shall not be mounted on a phantom.

10 Documentation

10.1 General

The requirements listed below are verified by revision of the manufacturer provided documentation.

10.2 Type test report

The manufacturer shall make available to the user (if requested), the report on the type tests performed to the requirements of this standard.

10.3 Certificate

The manufacturer shall provide a test report containing at least this information:

- a) If the BRD displays ambient dose equivalent rate, provide the ambient dose equivalent rate calibration measurements for ^{241}Am , ^{137}Cs and ^{60}Co .
- b) If the BRD has radionuclide identification capabilities, provide the energy resolution and energy calibration for ^{137}Cs .
- c) Photon total efficiency (counts per second (cps) per μSv per hour) as a function of photon energies for at least ^{241}Am , ^{137}Cs and ^{60}Co .
- d) If the instrument has neutron detection capabilities, neutron efficiency (cps per neutron per second per cm^2) for unmoderated ^{252}Cf and moderated ^{252}Cf (specify moderator).

The environmental test conditions for these parameters shall be indicated in the certificate.

10.4 Operation and maintenance manual

The manufacturer shall supply an operational and maintenance manual containing the following information to the user:

- a) Contact information for the manufacturer including name, address, telephone number, fax number, email address
- b) Type of instrument, detector and types of radiation the instrument is designed to measure
- c) Power supply requirements

- d) Battery life time
- e) Recommended operational parameters shall include as a minimum:
 - a) Background update modes
 - b) If radionuclide identification capabilities, radionuclide library
 - c) If radionuclide identification capabilities, integration time for radionuclide identification
 - d) Alarm threshold default settings, for photon and neutrons as applicable
- f) Detector energy response range
- g) Photon ambient dose equivalent rate ranges for measurement and protection, and maximum over-range values
- h) If the instrument has neutron detection capabilities, neutron count rate range
- i) If radionuclide identification capabilities, photon ambient dose equivalent rate ranges and maximum over-range for identification values
- j) If the BRD has real-time identification capabilities, integration time and mode (e.g., rolling integration time)
- k) Time to alarm
- l) Photon total efficiency (cps per μSv per hour) as a function of photon energies for at least ^{241}Am , ^{137}Cs and ^{60}Co
- m) If the instrument has neutron detection capabilities, neutron efficiency (cps per neutron per second per cm^2) for unmoderated ^{252}Cf and moderated ^{252}Cf (specify moderator)
- n) False alarm probability
- o) Complete description of the BRD, to include dimensions, weight, detectors locations, reference points
- p) If the instrument has radionuclide identification capabilities, the manufacturer shall describe the meaning of the confidence indication
- q) If the instrument can transmit information to an external device, the manufacturer shall provide a description and protocol for communication methods of transmitting and receiving data
- r) Energy calibration and stabilization requirements
- s) Operational range for the environmental conditions listed in Clause 7.
- t) Operational range for the electromagnetic tests listed in Clause 9.
- u) Operational range for the mechanical tests listed in Clause 8.
- v) Operating instructions and restrictions for operators and users
- w) Maintenance instructions
- x) Spare parts list
- y) Troubleshooting guide

Table 1 – Standard test conditions

Influence quantity	Standard test conditions
Stabilization time	≤ 15 min
Ambient temperature	15 °C to 25 °C
Relative humidity	50 % to 75 %
Atmospheric pressure	86 kPa to 106,6 kPa (at 0 °C)
Gamma background	≤ 0,2 μSv·h ⁻¹
Neutron background	≤ 300 neutrons per second per square meter
Electromagnetic field of external origin	Controlled, natural conditions
Magnetic induction of external origin	Controlled, natural conditions
Reference photon radiation*	²⁴¹ Am, ¹³⁷ Cs and ⁶⁰ Co
Reference neutron radiation*	²⁵² Cf unmoderated and moderated
* See 4.10 for details.	

Table 2 – Occurrence of functionality tests for environmental testing

Environmental tests	Functionality test execution
Ambient temperature	With sources: • before ambient temperature test • at the beginning of every step in temperature increments (during ramp up and down) • during the last 15 min of each step in temperature (during ramp up and down) • at the beginning, middle, and end of equilibrium (or soaking) time at minimum temperature • at the beginning, middle, and end of equilibrium (or soaking) time at maximum temperature Verify that the basic display indications listed in 5.14.2 are readable at the minimum and maximum temperatures. Without sources: • during test
Temperature shock	With sources: • before temperature shock test • after the manufacturer stated stabilization time if the manufacturer does not provide the stabilization time, perform the measurements 15 min after exposure to extreme temperature
Relative humidity	With sources: • before relative humidity test • 8 h after exposure to high humidity • 16 h after exposure Without sources: • during test
Low/high temperature start-up	With sources: • before low/high temperature start-up test • after warm-up time (low temperature) • after warm-up time (high temperature)

Environmental tests	Functionality test execution
Dust and moisture resistance – IP Classification	With sources: • before dust and moisture test • during exposure • after dust and moisture test Without sources: • during test

Table 3 – Occurrence of functionality tests for mechanical testing

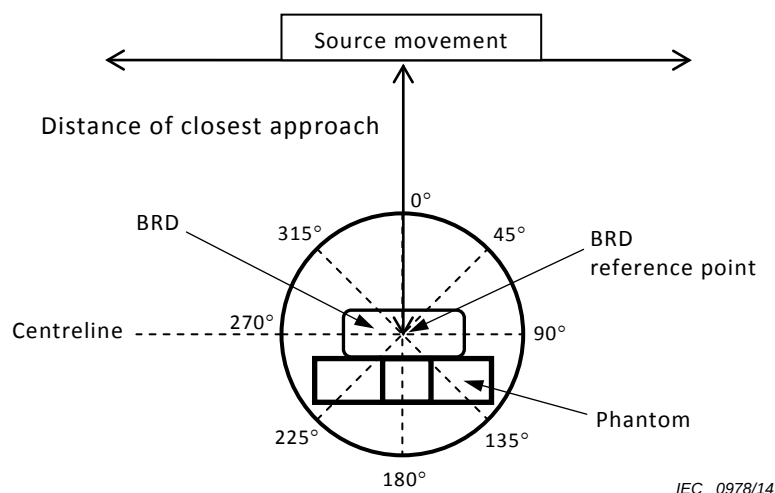
Mechanical tests	Functionality tests execution
Vibration test	With sources: • before vibration test • during exposure • after vibration test Without sources: • during test
Microphonics/Impact	With sources: • before microphonics/impact test • during exposure • after microphonics/impact test Without sources: • during test
Mechanical shock	With sources: • before shock I test • during exposure • after shock test Without sources: • during test
Drop	With sources: • before drop test • after drop test (after six drops)

Table 4 – Emission frequency range

Frequency of emission MHz	Field strength μV/m
30 to 88	100
88 to 216	150
216 to 960	200
>960	500

Table 5 – Occurrence of functionality tests for electromagnetic testing

Electromagnetic tests	Functionality tests execution
Electrostatic discharge	With sources: • before discharge test • during exposure • after discharge test Without sources: • during discharge
Radio frequency	With sources: • before radio frequency test • during exposure • after radio frequency test Without sources: • during sweep (continuously)
Radiated RF emissions	• Not applicable, record emission from instrument
Magnetic fields	With sources: • before magnetic field test • during exposure • after magnetic field test Without sources: • during exposure
Conducted immunity	With sources: • before conducted immunity test • during exposure • after conducted immunity test Without sources: • during sweep (continuously)



IEC 0978/14

NOTE The displayed source movement represents the test configuration at an angle of 0°.

Figure 1 – Diagram of testing angles when source passes at an angle of 0° in the horizontal plane (top view)

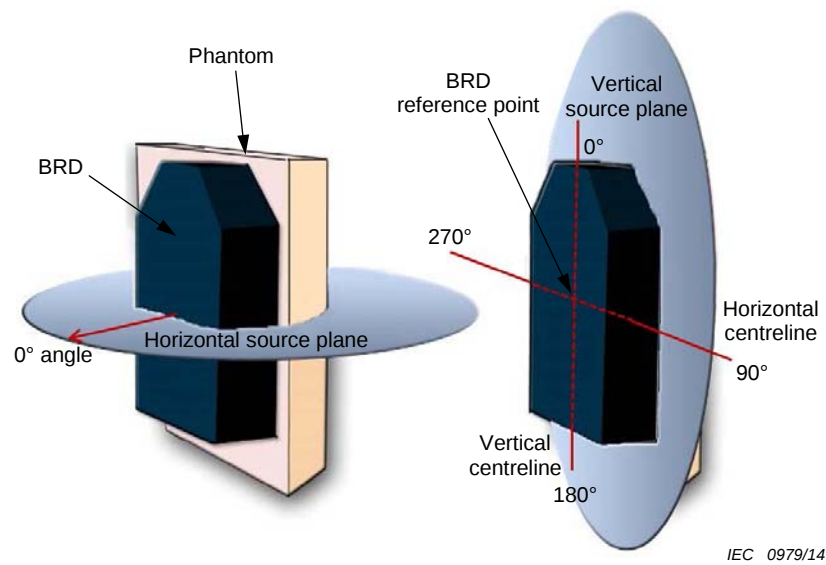


Figure 2 – Diagram of the two orthogonal planes (horizontal and vertical planes), the BRD reference point and testing angles

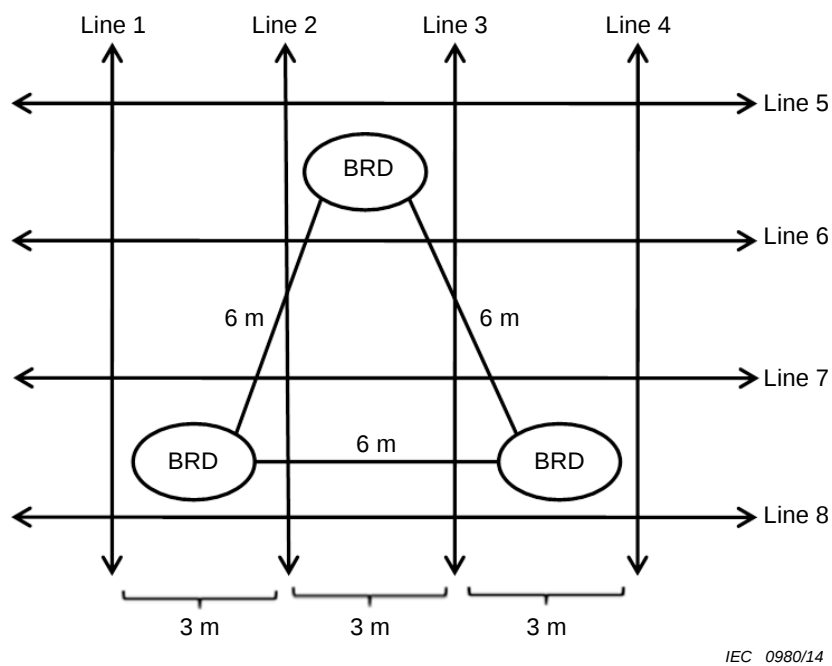


Figure 3 – BRD setup and testing source positions for network area monitoring

Annex A (informative)

Statistical considerations

A.1 Poisson distribution

A random variable used to describe a number of occurrences of some phenomena over a fixed period of time or within a fixed region of space can often be modelled by the Poisson distribution. Examples include the number of radioactive particles that strike a certain target during a fixed period of time; and the number of bomb hits in a defined area.

The Poisson distribution is given as (Casella and Berger, 2002):

$$P(x|\lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots; 0 \leq \lambda \quad (\text{A.1})$$

The single positive parameter λ is the expected number of occurrences per unit time, sometimes referred to as the mean occurrence rate. In addition to being the expected value of the Poisson distribution, λ is also the variance of the distribution. The occurrence rate can be estimated by

$$\hat{\lambda} = \frac{x}{n} \quad (\text{A.2})$$

Where x is the number of occurrences observed and n the number of units of time over which the observation was made.

A.2 Confidence intervals for Poisson distribution

A two-sided $100(1-\alpha)\%$ confidence interval for λ , given x occurrences in n units of time can be found by (Hahn and Meeker, 1991):

$$[\lambda, \hat{\lambda}] = \left[\frac{0,5 \chi^2(\frac{\alpha}{2}; 2x)}{n}, \frac{0,5 \chi^2(1-\frac{\alpha}{2}; 2x+2)}{n} \right] \quad (\text{A.3})$$

where $\chi^2_{(\gamma;r)}$ is the 100γ the percentile of a chi-square distribution with r degrees of freedom.

One-sided lower and upper $100(1-\alpha)\%$ confidence bounds for λ are obtained by replacing $\alpha/2$ by α in the first and second parts of Formula (A.3), respectively. Thus, a $100(1-\alpha)\%$ one-sided upper confidence bound for λ is:

$$\hat{\lambda} = \frac{0,5 \chi^2(1-\alpha; 2x+2)}{n} \quad (\text{A.4})$$

A.3 False alarm testing

The number of false alarms produced by a radiation detection system over some fixed time period for which the false alarm rate is not expected to vary (e.g. stable background) can be reasonably modelled by a Poisson distribution. The false alarm occurrence rate can be estimated, as described by Formula (A.2) by the number of occurrences observed over a fixed period of time divided by the number of units of time this observation was made.

When reporting estimates that are a result of limited test observations, some measure of the sampling variability and hence the uncertainty of the estimate should be provided. One approach to including such information is in the form of a confidence interval or a confidence bound. As it is desired to maintain a false alarm rate as small as possible, a one-sided upper confidence bound is an appropriate measure to report as it provides information of how large the desirably small true false alarm rate may actually be. For example, if 0 false alarms were observed in a test period of 3 h, the false alarm rate would be estimated to be $\hat{\lambda} = 0$ per hour with a 95 % upper confidence bound of $\hat{\lambda} = 1$ per hour. Thus, one could state with 95 % confidence that the false alarm rate for the radiation detection system is no greater than 1 per hour.

When developing a false alarm test, the desired precision and strength in a false alarm statement as well as the estimate uncertainty shall be considered. In the noted example, stating that a false alarm rate does not exceed 1 per hour may be of limited use but given the limited test time, a stronger statement cannot be made. If one would like to state that the false alarm rate will not exceed 1 per 8 h work shift ($\hat{\lambda} = 0,125$), a false alarm test shall extend for 24 h with 0 occurrences observed. Table A.1 displays the 95 % one-sided upper confidence bounds for the hourly false alarm rate for test durations ranging from 1 h to 40 h and number of observed false alarm occurrences ranging from 0 to 10.

Table A.1 – One-sided 95 % upper confidence bounds for the false alarm rate for a given number of false alarms observed over a given time period

95 % One-sided upper confidence bound for false alarm rate (per hour)											
Test duration	Number of false alarms observed										
hours	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3,00	4,74	6,30	7,75	9,15	10,51	11,84	13,15	14,43	15,71	16,96
2	1,50	2,37	3,15	3,88	4,58	5,26	5,92	6,57	7,22	7,85	8,48
3	1,00	1,58	2,10	2,58	3,05	3,50	3,95	4,38	4,81	5,24	5,65
4	0,75	1,19	1,57	1,94	2,29	2,63	2,96	3,29	3,61	3,93	4,24
5	0,60	0,95	1,26	1,55	1,83	2,10	2,37	2,63	2,89	3,14	3,39
6	0,50	0,79	1,05	1,29	1,53	1,75	1,97	2,19	2,41	2,62	2,83
7	0,43	0,68	0,90	1,11	1,31	1,50	1,69	1,88	2,06	2,24	2,42
8	0,37	0,59	0,79	0,97	1,14	1,31	1,48	1,64	1,80	1,96	2,12
9	0,33	0,53	0,70	0,86	1,02	1,17	1,32	1,46	1,60	1,75	1,88
10	0,30	0,47	0,63	0,78	0,92	1,05	1,18	1,31	1,44	1,57	1,70
11	0,27	0,43	0,57	0,70	0,83	0,96	1,08	1,20	1,31	1,43	1,54
12	0,25	0,40	0,52	0,65	0,76	0,88	0,99	1,10	1,20	1,31	1,41
13	0,23	0,36	0,48	0,60	0,70	0,81	0,91	1,01	1,11	1,21	1,30
14	0,21	0,34	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,94	1,03	1,12	1,21
15	0,20	0,32	0,42	0,52	0,61	0,70	0,79	0,88	0,96	1,05	1,13
16	0,19	0,30	0,39	0,48	0,57	0,66	0,74	0,82	0,90	0,98	1,06
17	0,18	0,28	0,37	0,46	0,54	0,62	0,70	0,77	0,85	0,92	1,00
18	0,17	0,26	0,35	0,43	0,51	0,58	0,66	0,73	0,80	0,87	0,94
19	0,16	0,25	0,33	0,41	0,48	0,55	0,62	0,69	0,76	0,83	0,89
20	0,15	0,24	0,31	0,39	0,46	0,53	0,59	0,66	0,72	0,79	0,85

A.4 Binomial distribution

When an observable is described by only two possible outcomes (e.g. alarm, no alarm) the number of occurrences is modelled by the Binomial distribution.

Let the observable X have $Bin(n, p)$ distribution. For a given $(1-\alpha)\%$ confidence level, the lower $(1-\alpha)\%$ confidence bound, $\underline{p} = \underline{p}(X, n, \alpha)$, for the binomial probability p is known (see Bickel and Doksum) to have the form

$$\underline{p} = \max\{p : \text{binocdf}(X-1, n, p) \geq 1-\alpha\}.$$

where,

$$\text{binocdf}(x, n, p) = \sum_{k=0}^x \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k},$$

for the binomial cumulative distribution function is employed. Our goal is for given X to determine the range of n such that, say, for prescribed α , one has $\underline{p} \geq p_0$. This range is formed by all sufficiently large positive integers.

Notice that $\text{binocdf}(n-1, n, p) = 1 - p^n$, so that when $X = n$ (i.e. there are no failures in n trials), the smallest sample size n can be found from the formula,

$$n = \frac{\log \alpha}{\log p_0}.$$

The following Table A.2 of more general n -values is constructed by using $\text{binocdf}(x, n, p)$ function for several α and for different values of the $(1-\alpha)\%$ guaranteed probability of success p_0 , i.e. the prescribed or guaranteed values of $\underline{p}$.

Table A.2 – Necessary sample sizes (n) for different levels (p_o) and number of failures (k)

k	α=0,05										α=0,1										α=0,15										α=0,2										α=0,3									
	p _o										p _o										p _o										p _o										p _o									
	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80										
0	298	148	58	28	13	229	113	44	22	10	189	94	37	18	9	160	81	31	15	7	119	61	23	11	5	243	121	48	24	11	611	306	117	58	28	671	335	133	66	32	588	294	117	58	28					
1	473	235	58	44	22	388	193	76	37	18	336	167	66	29	10	299	149	59	29	14	243	121	48	24	11	611	306	117	58	28	1134	567	205	102	55	1028	514	183	91	45	1134	567	205	102	55					
2	627	313	93	61	29	531	265	105	52	25	471	235	93	33	16	427	213	84	42	20	361	180	71	35	17	506	253	139	69	34	1134	567	205	102	55	1028	514	183	91	45	1134	567	205	102	55					
3	773	385	124	75	36	666	332	132	65	32	600	299	119	46	22	550	275	109	54	26	475	237	94	47	23	550	275	147	73	36	1134	567	205	102	55	1028	514	183	91	45	1134	567	205	102	55					
4	913	465	153	89	43	797	398	158	78	38	725	362	144	59	29	671	335	133	66	32	588	294	117	58	28	671	335	171	85	41	1134	567	205	102	55	1028	514	183	91	45	1134	567	205	102	55					
5	1049	523	180	102	50	925	462	183	91	44	848	423	168	71	35	789	394	157	78	38	700	350	139	69	34	789	394	191	95	47	1134	567	205	102	55	1028	514	183	91	45	1134	567	205	102	55					
6	1180	594	207	115	56	1051	524	208	103	50	968	483	192	83	41	906	453	180	89	44	810	405	161	80	39	906	453	203	101	49	1134	567	205	102	55	1028	514	183	91	45	1134	567	205	102	55					
7	1319	658	234	128	63	1175	586	233	115	56	1088	543	216	95	47	1022	511	203	101	49	920	460	183	91	45	1022	511	213	102	50	1134	567	205	102	55	1028	514	183	91	45	1134	567	205	102	55					
8	1440	720	260	141	69	1297	647	257	127	62	1206	602	239	107	52	1136	561	225	112	55	1028	514	183	91	45	1136	561	233	103	50	1134	567	205	102	55	1028	514	183	91	45	1134	567	205	102	55					
9	1573	785	285	154	75	1418	708	281	140	68	1373	660	263	119	64	1250	620	249	123	61	1134	567	205	102	55	1250	620	257	104	51	1134	567	205	102	55	1028	514	183	91	45	1134	567	205	102	55					

Annex B (informative)

List of expected progeny and expected impurities

A BRD shall completely and correctly identify the radionuclides of interest. This classification follows the IAEA requirements and they can be summarized as follows:

a) Complete and Correct (C&C)

- Source "X" identified as "X"
- Sources "X+Y" identified as "X+Y"

For example:

- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{235}\text{U}$
- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{40}\text{K}$
- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{40}\text{K} + ^{232}\text{Th}$
- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{40}\text{K} + ^{232}\text{Th} + ^{226}\text{Ra}$
- $^{235}\text{U} + ^{67}\text{Ga} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{67}\text{Ga} + ^{40}\text{K} + ^{232}\text{Th} + ^{226}\text{Ra}$

Complete and correct may also include progeny and impurities of the target radionuclide(s). NORM radionuclides can be displayed as they are part of the background even when they are not part of the source being tested. Table B.1 provides a list of progeny and expected impurities.

b) Incomplete

- Source "X+Y" identified as "X" or "Y"

For example:

- $^{235}\text{U} + ^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{226}\text{Ra}$

c) Incorrect

- Source "X" identified as "X + Y".

For example:

- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{237}\text{Np}$
- $^{67}\text{Ga} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{67}\text{Ga}$

d) Incomplete & Incorrect (I&I)

- Source "A" being identified as "C"
- Source "A+B" identified as "C+D"

For example:

- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{67}\text{Ga}$
- $^{235}\text{U} + ^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc} + ^{133}\text{Ba}$

The list of expected progeny and impurities is given below. If a radionuclide is not listed that means that there is no expected progeny for that particular radionuclide. Therefore, the required radionuclide is that one present.

NOTE Some systems do not distinguish the Plutonium and Uranium enrichment, in those cases these different sources are identified using the same radionuclide or source name.

Table B.1 – List of expected progeny and expected impurities

Source	Required radionuclide(s)	Expected progeny or impurities
^{201}Tl	^{201}Tl	^{202}Tl
DU	^{238}U	^{235}U , ^{226}Ra
RGPu	^{239}Pu	^{242}Pu , ^{241}Pu , ^{240}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{237}U , ^{242}Pa , ^{233}U , neutron, ^{252}Cf , ^{249}Cf , RGPu, Plutonium
WGPu	^{239}Pu	^{242}Pu , ^{241}Pu , ^{240}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{237}U , ^{242}Pa , ^{233}U , neutron, ^{252}Cf , ^{249}Cf , WGPu, Plutonium
HEU	^{235}U	^{238}U , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, HEU, Uranium
$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{WGPu}$	^{239}Pu	^{242}Pu , ^{241}Pu , ^{240}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{237}U , ^{242}Pa , ^{233}U , neutron, ^{252}Cf , ^{249}Cf , ^{228}Th , ^{232}U , ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{232}Th , ^{226}Ra , WGPu, Plutonium
$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{HEU}$	^{235}U	^{238}U , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{228}Th , ^{232}U , ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{232}Th , ^{226}Ra , HEU, Uranium
$^{131}\text{I} + \text{WGPu}$	$^{239}\text{Pu} + ^{131}\text{I}$	^{242}Pu , ^{241}Pu , ^{240}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{237}U , ^{242}Pa , ^{233}U , neutron, ^{252}Cf , ^{249}Cf , WGPu, Plutonium
$^{99\text{m}}\text{Tc} + \text{HEU}$	$^{235}\text{U} + ^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{238}U , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{99}Mo , HEU, Uranium
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{99}Mo
^{232}Th	^{232}Th	^{228}Th , ^{232}U
^{226}Ra	^{226}Ra	^{214}Bi , ^{214}Pb

Annex C (informative)

Summary of fluence rate calculations

Radiation from an x-ray generator or a radioactive source consists of a beam of photons, usually with a variety of energies. If we consider that the beam is monoenergetic, then one way to describe the beam would be to specify the number of photons, dN , that would cross an area, da , taken at right angles to the beam. The ratio of these would yield what the International Commission of Radiological Units and Measurements (ICRU) has called fluence or photon fluence represented by the capital Greek letter phi, Φ .

$$\Phi = \frac{dN}{da} \quad (\text{C.1})$$

The fluence rate is the number of photons that pass through unit area per unit time and it is represented by the lower case Greek letter phi, ϕ , thus:

$$\phi = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dN}{da dt} \quad (\text{C.2})$$

When the emission of the source is isotropic and we integrate Formula (C.2), we have that the fluence rate at a radius, r , from the source can be expressed as:

$$\phi = \frac{R}{4\pi r^2} \quad (\text{C.3})$$

where R is the number of photons per second emitted from the source (i.e., emission rate).

R can be expressed as a function of the source activity, A (expressed in Becquerels), as:

$$R = A \times p(E) \quad (\text{C.4})$$

where $p(E)$ is the emission probability of a gamma ray at energy E . Then the fluence rate can be expressed as:

$$\phi = \frac{A \times p(E)}{4\pi r^2} \quad (\text{C.5})$$

If the source emits gamma rays at different energies, then the fluence rate can be expressed as:

$$\phi = \frac{A}{4\pi r^2} \sum_i p(E_i) \quad (\text{C.6})$$

Note that the fluence rate value obtained using Formula (C.6) will depend on the cut-off energy used in the calculation. Due to instruments' response it is suggested to use a 40 keV cut-off energy for most calculations.

The emission probabilities listed in the LNE-LNHB, Le Laboratoire National Henri Becquerel, Table of Radionuclides (http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm) shall be used for these calculations; if a given radionuclide is not listed in LNE-LNHB, Le Laboratoire National Henri Becquerel, Table of Radionuclides then use the data listed in the Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF) National Nuclear Data Center, Chart of Nuclides (<http://www.nndc.bnl.gov/>).

If the required data are not available in the LNE-LNHB or ENSDF a list of the photo-peaks and emission probabilities used in the calculation shall be provided as part of the support documentation.

The fluence rate for a single gamma-ray line of energy, E , can be measured using a gamma-ray spectrometer equipped with a HPGe or NaI(Tl) detector. In this case the fluence rate can be expressed as:

$$\phi = \frac{Area_{net} \times \epsilon(E)}{T_{Live} \times 4\pi r^2} \quad (C.7)$$

where $Area_{net}$ is the net photo-peak area of the gamma line of energy E , $\epsilon(E)$ is the detector full-energy peak efficiency for the gamma-ray of energy E , and T_{Live} is the live time of the measurement (expressed in seconds) (see *Gamma- and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors*. K. Debertin and R.G. Helmer. Editor North-Holland, 1998 Edition).

Examples of fluence rate calculations are shown in the Table C.1 below.

Table C.1 – Examples of fluence rate calculations

Fluence rate (photons/s/cm ²) (cut-off energy 40 keV)	0,642						3,4		4,01	
Distance (m)	0,75	1	1,5	2,5	5	6	1	2,5	1	2,5
Radionuclide	Activity (kBq)									
⁵⁷ Co	47	84	188	523	2091	3011	443	2778	523	3267
¹³³ Ba	33	59	133	370	1478	2129	313	1958	369	2308
¹³⁷ Cs	53	95	213	592	2369	3412	502	3138	592	3703
⁶⁰ Co	23	40	91	253	1012	1457	214	1337	252	1578
²³² Th	13	23	53	147	586	844	124	775	146	914
²⁴¹ Am	127	225	505	1404	5617	8088	1190	7433	1403	8766
²²⁶ Ra	22	38	87	241	963	1386	204	1275	241	1502

Annex D (normative)

Calculation ambient dose equivalent rate

In order to have a consistent way to determine the ambient dose equivalent rate, $\dot{H}^*(10)$, among all users of this standard, the following method shall be used. There might be different and perhaps slightly better methods to perform these determinations, but the most critical issue to address in this standard is the reproducibility and consistency across all the testing laboratories in how the determination of the radiation fields are made. Due to the low ambient dose equivalent rates (*i.e.*, $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ above background) required to perform some of the tests, it would not be possible to make accurate measurements with the uncertainty required by the standard of $\pm 20\%$ ($k = 1$).

The proposed method assumes a point source in air, and it does not account for build-up in air. The cut-off energy, δ , used for the calculations shall be 40 keV, and for practical purposes all photon emissions with a probability larger than 0,5 % shall be included in the calculation (The physics of radiology, 4th Edition, Publisher Charles C. Thomas, Authors: Harold Elford Johns and John Robert Cunningham (1983)).

For the point source in vacuum, the fluence rate $\dot{\Phi}_i$ of photons with energy E_i at a radial distance r is simply $\frac{AP_i}{4\pi r^2}$, where A is the source activity, and P_i is the probability per disintegration that a photon of energy E_i is emitted. Assuming charged-particle equilibrium, the air-kerma rate $\dot{K}_i$ from photons of energy E_i is then $\dot{K}_i = \dot{\Phi}_i E_i \frac{\mu_{tr}(E_i)}{\rho_{air}}$, where $\frac{\mu_{tr}(E_i)}{\rho_{air}}$ is the mass energy-transfer coefficient for air (Seltzer, 2004). In general, for a point source in vacuum, emitting more than one energy photon the air kerma rate is obtained by summing over all photon energies as follows:

$$\dot{K}_\delta = \sum_i \frac{A P_i E_i \mu_{tr}(E_i)}{4\pi r^2 \rho_{air}}, \quad (\text{D.1})$$

where δ denotes the minimum photon energy included.

Now consider the point source surrounded by spherical shell(s) of encapsulating material in an infinite air medium. Each encapsulation material surrounding the source will have a thickness z_j and a density ρ_j . The attenuation of the photon beam from any material surrounding the source and the column of air between the source and the point of detection can be accounted for by using the following estimate of the air-kerma rate at a radial distance r :

$$\dot{K}_\delta = \frac{A}{4\pi r^2} \sum_i P_i E_i \frac{\mu_{tr}(E_i)}{\rho_{air}} \exp\left[-\sum_j \frac{\mu_j(E_i)}{\rho_j} \rho_j z_j\right] \exp\left[-\frac{\mu_{air}(E_i)}{\rho_{air}} \rho_{air} r\right], \quad (\text{D.2})$$

where μ_j/ρ_j is the mass attenuation coefficient for the encapsulating-layer material of thickness z_j and a density ρ_j , and μ_{air}/ρ_{air} is that for air. Note that in Formula D.2 there are two exponentials. The first one accounts for the attenuation of all the materials surrounding the source while the second exponential accounts for the attenuation of the air column. From Formula D.2 an expression for the ambient dose equivalent rate, $\dot{H}^*(10)$, can be easily derived for the practical case of an encapsulated source in air as:

$$\dot{H}^*(10) = \frac{A}{4\pi r^2} \sum_i h_K^*(10)_i P_i E_i \frac{\mu_{tr}(E_i)}{\rho_{air}} \exp\left[-\sum_j \frac{\mu_j(E_i)}{\rho_j} z_j \rho_j\right] \exp\left[-\frac{\mu_{air}(E_i)}{\rho_{air}} r \rho_{air}\right], \quad (D.3)$$

where $h_K^*(10)$ is the conversion coefficient from air kerma to ambient dose equivalent for mono-energetic and parallel photon radiation, and the use of the cut-off energy δ is assumed.

In order to ensure that all testing laboratories obtain a consistent calculated value of the ambient dose equivalent rate, the different coefficients and values for the different quantities used in the equations above shall only be taken from the following references:

- $h_K^*(10)$ values shall be taken from the ISO 4037-3:1999 standard. For convenience these values are also provided in Table D.1.
- μ_j/ρ_j and ρ_j shall be obtained from the XCOM database, see reference (National Institute of Standards and Technology (NIST), 2012, *XCOM: Photon Cross Sections Database*, available online at <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>).
- P_i shall be obtained from reference [LNE-LNHB, Le Laboratoire National Henri Becquerel, Table of Radionuclides, http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm]; if a given radionuclide is not listed in (LNE-LNHB, Le Laboratoire National Henri Becquerel, Table of Radionuclides, http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm), then reference (ENSDF, Evaluated Nuclear Structure Data File, National Nuclear Data Center, Chart of Nuclides, <http://www.nndc.bnl.gov/>) shall be used. For convenience, due to the long decay chain, the values for the probabilities per disintegration (P) for ^{232}Th and ^{226}Ra (in equilibrium) are listed in Table D.2.
- The μ_{tr}/ρ_{air} and μ_{air}/ρ_{air} values are given in Table D.3.
- The density of air shall be $\rho_{air} = 0,0012 \text{ g/cm}^3$.
- The cut-off energy, δ , used for the calculations shall be 40 keV.
- All photon emissions with a probability larger than 0,5 % shall be included in the calculation.

This method assumes that the sources used have small or negligible self-attenuation. This means that the dimensions and/or density of the source active material are such that the attenuation within the source is negligible. Appropriate corrections to Formula D.3 shall be applied to account for source self-attenuation for the case of large and/or dense sources.

Table D.1 – Conversion coefficient $h_K^*(10)$ from air kerma, K , to ambient dose equivalent, $H^*(10)$, for mono-energetic and parallel photon beams

Photon energy keV	$h_K^*(10)$ Sv/Gy
10	0,008
15	0,26
20	0,61
30	1,10
40	1,47
50	1,67
60	1,74
80	1,72
100	1,65
150	1,49
200	1,40
300	1,31

Photon energy keV	$h_K^*(10)$ Sv/Gy
400	1,26
500	1,23
600	1,21
800	1,19
1000	1,17
1500	1,15
2000	1,14
3000	1,13
4000	1,12
5000	1,11
6000	1,11
8000	1,11
10000	1,10

Table D.2 – Probabilities per disintegration for ^{232}Th and ^{226}Ra (in equilibrium) as a function of photon energy

^{232}Th (in equilibrium)		^{226}Ra (in equilibrium)	
Photon energy keV	P	Photon energy keV	P
72,805	7,51E-03	46,539	4,312E-02
74,815	1,04E-01	53,228	1,060E-02
74,969	1,26E-02	74,816	6,26E-02
77,107	1,75E-01	77,109	1,047E-01
84,373	1,22E-02	79,293	7,12E-03
86,83	2,09E-02	87,344	3,59E-02
87,349	4,01E-02	89,784	6,70E-03
89,784	1,46E-02	90,074	1,10E-02
89,957	1,96E-02	186,211	3,555E-02
93,35	3,19E-02	241,997	7,268E-02
99,509	1,26E-02	258,87	5,24E-03
105,604	7,40E-03	295,224	1,8414E-01
115,183	5,92E-03	351,932	3,56E-01
129,065	2,42E-02	609,312	4,549E-01
153,977	7,22E-03	665,453	1,53E-02
209,253	3,89E-02	768,356	4,892E-02
238,632	4,33E-01	785,96	1,064E-02
240,986	4,10E-02	806,174	1,262E-02
270,245	3,46E-02	839,04	5,87E-03
277,351	2,27E-02	934,061	3,10E-02
300,087	3,28E-02	1120,287	1,491E-01
328	2,95E-02	1155,19	1,635E-02
338,32	1,13E-01	1238,111	5,831E-02
409,462	1,92E-02	1280,96	1,435E-02

²³² Th (in equilibrium)		²²⁶ Ra (in equilibrium)	
Photon energy keV	<i>P</i>	Photon energy keV	<i>P</i>
463,004	4,40E-02	1377,669	3,968E-02
510,77	8,12E-02	1385,31	7,95E-03
562,5	8,70E-03	1401,5	1,33E-02
583,191	3,04E-01	1407,98	2,389E-02
726,863	6,20E-03	1509,228	2,128E-02
727,33	6,58E-02	1583,22	7,07E-03
755,315	1,00E-02	1661,28	1,048E-02
763,13	6,52E-03	1729,595	2,844E-02
772,291	1,49E-02	1764,494	1,531E-01
794,947	4,25E-02	1847,42	2,025E-02
830,486	5,40E-03	2118,55	1,158E-02
835,71	1,61E-02	2204,21	4,913E-02
840,377	9,10E-03	2447,86	1,548E-02
860,564	4,46E-02		
904,19	7,70E-03		
911,204	2,58E-01		
964,766	4,99E-02		
968,971	1,58E-01		
1078,62	5,64E-03		
1247,08	5,00E-03		
1459,138	8,30E-03		
1495,93	8,60E-03		
1580,53	6,00E-03		
1588,19	3,22E-02		
1620,5	1,49E-02		
1630,627	1,51E-02		
2614,453	3,56E-01		

Table D.3 – Values of the mass energy-transfer, mass energy-absorption, and mass attenuation coefficients for air

Photon energy MeV	μ_{tr}/ρ cm ² /g	μ/ρ cm ² /g
1,000E-03	3,599E+03	3,606E+03
1,500E-03	1,188E+03	1,191E+03
2,000E-03	5,263E+02	5,279E+02
3,000E-03	1,615E+02	1,625E+02
3,203E-03	1,330E+02	1,340E+02
3,203E-03	1,460E+02	1,485E+02
4,000E-03	7,637E+01	7,788E+01
5,000E-03	3,932E+01	4,027E+01
6,000E-03	2,271E+01	2,341E+01
8,000E-03	9,448E+00	9,921E+00
1,000E-02	4,743E+00	5,120E+00
1,500E-02	1,334E+00	1,614E+00
2,000E-02	5,391E-01	7,779E-01
3,000E-02	1,538E-01	3,538E-01
4,000E-02	6,836E-02	2,485E-01
5,000E-02	4,100E-02	2,080E-01
6,000E-02	3,042E-02	1,875E-01
8,000E-02	2,408E-02	1,662E-01
1,000E-01	2,326E-02	1,541E-01
1,500E-01	2,497E-02	1,356E-01
2,000E-01	2,674E-02	1,233E-01
3,000E-01	2,875E-02	1,067E-01
4,000E-01	2,953E-02	9,549E-02
5,000E-01	2,971E-02	8,712E-02
6,000E-01	2,958E-02	8,055E-02
8,000E-01	2,889E-02	7,074E-02
1,000E+00	2,797E-02	6,358E-02
1,250E+00	2,675E-02	5,687E-02
1,500E+00	2,557E-02	5,175E-02
2,000E+00	2,359E-02	4,447E-02
3,000E+00	2,076E-02	3,581E-02
4,000E+00	1,894E-02	3,079E-02
5,000E+00	1,770E-02	2,751E-02
6,000E+00	1,683E-02	2,522E-02
8,000E+00	1,571E-02	2,225E-02
1,000E+01	1,506E-02	2,045E-02
1,500E+01	1,434E-02	1,810E-02
2,000E+01	1,415E-02	1,705E-02

Bibliography

IEC 60068-2-27, *Environmental testing – Part 2-27: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 60068-2-64, *Environmental testing – Part 2-64: Tests – Test Fh: Vibration, broadband random and guidance*

IEC 60068-2-75, *Environmental Testing – Part 2-75: Tests –Test Eh: Hammer Tests*

IEC 60068-3-8, *Environmental testing – Part 3-8: Supporting documentation and guidance – Selecting amongst vibration tests*

IEC 60079-11, *Explosive atmospheres – Part 11: Equipment protection by intrinsic safety "i"*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 61000-4-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*

IEC 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3 : Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

IEC 61000-4-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*

IEC 61000-4-8, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-8: Testing and measurement techniques – Power frequency magnetic field immunity test*

UL-913, *Intrinsically Safe Apparatus and Associated Apparatus for Use in Class I, II, and III, Division 1, Hazardous (Classified) Locations*

ANSI N42.42, *American National Standard Data Format Standard for Radiation Detectors Used for Homeland Security*

FCC Rules, *Code of Federal Regulations, Title 47, Part 15, Radio Frequency Devices*

IAEA, "Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources, Table 1, 2004"

IAEA Safety Guide No. RS-G-1.9, *Categorization of Radioactive Sources*

ICRU Report 60, 1998, Fundamental quantities and units for ionizing radiation, *Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements*

Casella, G., & Berger, R. L., 2002, *Statistical Inference, Second Edition*. Pacific Grove, CA: Duxbury

DeGroot, M. H., 1989, *Probability and Statistics* (Second ed.). Reading, MA: Addison-Wesley. York: John Wiley & Sons, Inc.

P. J. Bickel and K. Doksum, 1977, *Mathematical Statistics*, Holden-Day, San Francisco, CA

K. Debertin and R.G. Helmer, *Gamma- and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors*, Editor North-Holland, 1998 Edition

Seltzer, S.M., Air-Kerma-Rate Coefficients for Selected Photon-Emitting Radionuclide Sources, *National Institute of Standards and Technology publication NISTIR 7092A*, 2004

National Institute of Standards and Technology (NIST), 2012, *XCOM: Photon Cross Sections Database*, available online at <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>

LNE-LNHB, Le Laboratoire National Henri Becquerel, Table of Radionuclides, http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm

ENSDF, Evaluated Nuclear Structure Data File, National Nuclear Data Center, Chart of Nuclides, <http://www.nndc.bnl.gov/>

ISO 4037-3:1999, *X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence*

Tables of x-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements $Z = 1$ to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest, *NISTIR 5632*, J.H. Hubbell and S.M. Seltzer, May 2005, <http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/>

The physics of radiology, 4th Edition, Publisher Charles C. Thomas, Authors: Harold Elford Johns and John Robert Cunningham, 1983

Pibida, L., Measurements for the Development of a Simulated Naturally Occurring Radioactive Material, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, Volume 117, 2012 (<http://dx.doi.org/10.6028/jres.117.008r2012>)

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	66
1 Domaine d'application	68
2 Références normatives	68
3 Termes, définitions, abréviations, grandeurs et unités	68
3.1 Termes et définitions	68
3.2 Abréviations	70
3.3 Grandeurs et unités	71
4 Procédure générale d'essai	71
4.1 Nature de l'essai	71
4.2 Conditions normales d'essai	71
4.3 Essais réalisés dans les conditions normales d'essai	71
4.4 Essai réalisé avec des variations de grandeurs d'influence	71
4.5 Fluctuations statistiques	71
4.6 Incertitudes de mesure	72
4.7 Bruit de fond de rayonnement pendant les essais	72
4.8 Configuration du BRD	72
4.9 Vitesse de déplacement des sources et temps d'intégration associé à l'identification des radionucléides	73
4.10 Sources de rayonnement	74
4.11 Essais de fonctionnement	75
5 Exigences générales	76
5.1 Masse	76
5.1.1 Exigences	76
5.1.2 Méthode d'essai	76
5.2 Exigences de conception	76
5.2.1 Exigences	76
5.2.2 Méthode d'essai	76
5.3 Marquage	77
5.3.1 Exigences	77
5.3.2 Méthode d'essai	77
5.4 Commutateurs	77
5.4.1 Exigences	77
5.4.2 Méthode d'essai	77
5.5 Etendue de mesure – Energie	77
5.5.1 Exigences	77
5.5.2 Méthode d'essai	77
5.6 Etendue de mesure – Taux de comptage	77
5.6.1 Exigences	77
5.6.2 Méthode d'essai	78
5.7 Paramètres d'exploitation	78
5.7.1 Exigences	78
5.7.2 Méthode d'essai	78
5.8 Atmosphères explosives	78
5.8.1 Exigences	78
5.8.2 Méthode d'essai	78

5.9	Diagnostics	78
5.9.1	Exigences.....	78
5.9.2	Méthode d'essai.....	79
5.10	Alimentation électrique.....	79
5.10.1	Exigences.....	79
5.10.2	Méthode d'essai.....	79
5.11	Format des données	80
5.11.1	Exigences.....	80
5.11.2	Méthode d'essai.....	81
5.12	Stockage des données.....	82
5.12.1	Exigences.....	82
5.12.2	Méthode d'essai.....	82
5.13	Interface de communication	82
5.13.1	Exigences.....	82
5.13.2	Méthode d'essai.....	82
5.14	Interface utilisateur	83
5.14.1	Affichage	83
5.14.2	Indications de base.....	83
5.14.3	Indications complémentaires.....	83
5.14.4	Indications des BRD prenant en charge l'identification des radionucléides	84
5.14.5	Indications des BRD prenant en charge l'orientation des radionucléides	84
5.14.6	Fonctions et commandes de base.....	85
5.14.7	Fonctions et commandes restreintes.....	85
6	Exigences de détection de rayonnement.....	86
6.1	Essai de fausse alarme	86
6.1.1	Exigences.....	86
6.1.2	Méthode d'essai.....	86
6.2	Réponse des alarmes au rayonnement photonique	86
6.2.1	Exigences.....	86
6.2.2	Méthode d'essai.....	86
6.3	Réponse des alarmes au rayonnement neutronique	88
6.3.1	Exigences.....	88
6.3.2	Méthode d'essai.....	88
6.4	Alarme de protection contre le rayonnement personnelle et temps de réponse	89
6.4.1	Exigences.....	89
6.4.2	Méthode d'essai.....	89
6.5	Indication du débit d'équivalent de dose ambiant gamma	89
6.5.1	Exigences.....	89
6.5.2	Méthode d'essai.....	89
6.6	Dépendance angulaire et vérification de l'indication directionnelle	90
6.6.1	Exigences.....	90
6.6.2	Méthode d'essai.....	90
6.7	Essai de dépassement de l'étendue de mesure.....	91
6.7.1	Exigences.....	91
6.7.2	Méthode d'essai.....	91

6.8	Indication de neutrons en présence de photons	92
6.8.1	Exigences.....	92
6.8.2	Méthode d'essai.....	92
6.9	Détection de l'augmentation graduelle des niveaux de rayonnement	92
6.9.1	Exigences.....	92
6.9.2	Méthode d'essai.....	93
6.10	Moniteurs de terrain en réseau	93
6.10.1	Exigences.....	93
6.10.2	Méthode d'essai.....	94
6.11	Identification des radionucléides, le cas échéant.....	94
6.11.1	Exigences générales	94
6.11.2	Bibliothèque d'identification des radionucléides	95
6.11.3	Identification des radionucléides simples	95
6.11.4	Identification des radionucléides blindés.....	97
6.11.5	Identification des radionucléides multiples et masqués	98
6.11.6	Radionucléides absents de la bibliothèque	99
6.11.7	Identification en présence d'un faible débit d'exposition	99
6.11.8	Caractéristiques de dépassement de l'étendue de mesure pour l'identification.....	100
6.11.9	Elimination des variations du bruit de fond naturel	101
7	Exigences environnementales	101
8	Exigences mécaniques	102
9	Exigences électromagnétiques	102
10	Documentation	103
10.1	Rapport sur l'essai de type.....	103
10.2	Certificat	103
10.3	Manuel d'utilisation et de maintenance.....	103
Annexe A (informative)	Considérations statistiques.....	109
A.1	Distribution de Poisson	109
A.2	Intervalles de confiance de la distribution de Poisson	109
A.3	Essais de fausse alarme	109
A.4	Loi binomiale	111
Annexe B (informative)	Liste des descendants et des impuretés prévus.....	114
Annexe C (informative)	Récapitulatif des calculs de débit de fluence	116
Annexe D (normative)	Calcul du débit d'équivalent de dose ambiant.....	118
Bibliographie.....		123
Figure 1	Diagramme des angles d'essai lorsque la source passe à un angle de 0° dans le plan horizontal (vue du haut). Le mouvement source affiché représente la configuration d'essai à un angle de 0°.....	107
Figure 2	Représentation schématique des deux plans orthogonaux (plans horizontal et vertical), du point de référence du BRD et des angles d'essai.	108
Figure 3	Préparation du BRD et positions de la source d'essai pour la surveillance de zone en réseau	108
Tableau 1	Conditions normales d'essai	104

Tableau 2 – Place des essais de fonctionnement dans les essais d'environnement	105
Tableau 3 – Place des essais de fonctionnement dans les essais mécaniques	106
Tableau 4 – Gamme de fréquences d'émission	106
Tableau 5 – Place des essais de fonctionnement dans les essais électromagnétiques.....	107
Tableau A.1 – Limites unilatérales supérieures de confiance à 95 % associées au taux de fausse alarme pour un nombre donné de fausses alarmes observées pendant une durée donnée.....	111
Tableau A.2 – Tailles d'échantillon nécessaires (n) pour différents niveaux (p_0) et nombre d'échecs (k)	113
Tableau B.1 – Liste des descendants et des impuretés prévus	115
Tableau C.1 – Exemples de calculs du débit de fluence	117
Tableau D.1 – Coefficient de conversion $h_K^*(10)$ du kerma de l'air, K, à l'équivalent de dose ambiant, $H^*(10)$, pour les faisceaux de photons mono-énergétiques et parallèles	119
Tableau D.2 – Probabilités par désintégration pour ^{232}Th et ^{226}Ra (en équilibre) comme fonction de l'énergie des photons.....	120
Tableau D.3 – Valeurs des coefficients de transfert d'énergie de masse, d'absorption d'énergie de masse et d'atténuation de masse pour l'air	122

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – DÉTECTEUR DE RAYONNEMENT DE TYPE SAC-À-DOS (BRD) POUR LA DÉTECTION DU TRAFIC ILLICITE DES MATIÈRES RADIOACTIVES

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 62694 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 est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45B/781/FDIS	45B/790/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.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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 à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

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.

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – DÉTECTEUR DE RAYONNEMENT DE TYPE SAC-À-DOS (BRD) POUR LA DÉTECTION DU TRAFIC ILLICITE DES MATIÈRES RADIOACTIVES

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux détecteurs de rayonnement de type sac à dos (BRD, backpack-type radiation detector) utilisés dans la détection du trafic illicite des matières radioactives. Cette norme établit les exigences de fonctionnement et de performances relatives aux BRD. Les BRD sont des instruments portables conçus pour être portés lorsqu'ils sont utilisés. Ils peuvent également servir de moniteurs de terrain temporaires en mode autonome.

Les BRD détectent le rayonnement gamma et ils peuvent inclure la détection des neutrons et/ou l'identification des radionucléides émetteurs gamma. Cette norme établit les exigences de performances et d'essai associées aux mesures du rayonnement, ainsi que les conditions électriques, mécaniques et ambiantes prévues pendant l'utilisation.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 (toutes les parties): *Vocabulaire Electrotechnique International* (disponible à <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-393:2003, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 393: Instrumentation nucléaire – Phénomènes physiques et notions fondamentales*

IEC 60050-394:2007, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 394: Instrumentation nucléaire – Instruments, systèmes, équipements et détecteurs*

IEC 62706, *Instrumentation pour la radioprotection – Exigences de performances environnementales, électromagnétiques et mécaniques*

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

3 Termes, définitions, abréviations, grandeurs et unités

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 60050-393 et l'IEC 60050-394, ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1.1**précision**

degré d'accord entre le résultat d'une mesure et la valeur conventionnellement vraie du mesurande

3.1.2**alarme**

signal sonore, visuel ou autre déclenché quand la lecture de l'instrument dépasse une valeur fixée à l'avance/est en dehors d'une étendue fixée à l'avance ou quand l'instrument détecte la présence de la source de rayonnement conformément à une condition fixée à l'avance

[SOURCE: IEC 60050-393:2003, 393-18-03, modifiée]

3.1.3**niveau de bruit de fond**

champ de rayonnement qui ne comporte aucune source externe si ce n'est les sources présentes dans le bruit de fond naturel du lieu de mesure

3.1.4**détecteur de rayonnement de type sac à dos**

appareil composé de plusieurs éléments de détection de rayonnement placés à l'intérieur d'un sac à dos ou d'une enveloppe analogue et doté d'une interface utilisateur externe ou d'un appareil de contrôle

3.1.5**axe**

ligne horizontale ou verticale décrivant le centre géométrique d'un objet

3.1.6**coefficient de variation**

V

rapport entre l'écart type s et la moyenne arithmétique $\bar{x}$ d'une série de n mesures x_i donné par la formule suivante:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

[SOURCE: IEC 60050-394:2007, 394-40-14]

3.1.7**fenêtre d'énergie**

partie du spectre d'énergie comprise entre une limite d'énergie supérieure et une limite d'énergie inférieure

[SOURCE: IEC 60050-394:2007, 394-38-70]

3.1.8**keyhole markup language****KML**

format de fichier utilisé pour représenter les données géographiques

Note 1 à l'article: Voir par exemple <http://www.opengeospatial.org/standards/kml/>.

3.1.9**fluence** **Φ**

quotient de dN par da, où dN est le nombre de particules incidentes sur une sphère dont la surface transversale est da: $\Phi = dN/da$

[SOURCE: IEC 60050-881:1983, 881-04-18]

3.1.10**débit de fluence**

le *débit de fluence*, $\dot{\Phi}$, est le quotient de d Φ par dt, où d Φ est l'incrément de la fluence pendant l'intervalle de temps dt, donc $\dot{\Phi} = \frac{d\Phi}{dt}$. Le débit de fluence s'exprime en m⁻²s⁻¹

[SOURCE: Rapport ICRU 60:1998]

3.1.11**essai de type**

essai de conformité effectué sur une ou plusieurs entités représentatives de la production

[SOURCE: IEC 60050-394:2007, 394-40-02]

3.1.12**interface utilisateur**

logiciels et/ou matériels assurant la gestion des interactions entre utilisateur et matériel

3.1.13**variance** **σ^2**

mesure de dispersion représentant la somme des carrés des écarts des observations par rapport à leur moyenne, divisée par le nombre d'observations moins un

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

3.2 Abréviations

CA	courant alternatif
BRD	backpack-type radiation detector, détecteur de rayonnement de type sac à dos
cps	coup par seconde
CC	courant continu
UA	uranium appauvri
DES	décharges électrostatiques
FIFO	first in first out, premier entré premier sorti
GPS	global positioning system, système mondial de localisation
PEHD	polyéthylène haute densité
HEU	highly enriched uranium, uranium hautement enrichi
HPGe	high purity germanium, germanium de haute pureté
KML	keyhole markup language
NORM	naturally occurring radioactive material, matière radioactive naturelle
PMMA	polymethyl methacrylate, polyméthacrylate de méthyle

RGPu	reactor grade plutonium, plutonium de qualité réacteur
WGPu	weapons grade plutonium, plutonium de qualité militaire
XML	eXtensible Markup Language

3.3 Grandeurs et unités

Dans cette norme, on utilise les unités du système international (SI)¹. Les définitions des grandeurs de rayonnement sont données dans les IEC 60050-393 et IEC 60050-394.

On peut néanmoins également utiliser les unités suivantes:

- énergie: électronvolt (symbole: eV), $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- temps: années (symbole: y, year), jours (symbole: d, day), heures (symbole: h), minutes (symbole: min);
- distance: centimètre (symbole: cm), millimètre (symbole: mm), kilomètre (symbole: km).

Lorsque cela est possible, on utilise des multiples et des sous-multiples des unités SI, conformément au système SI.

4 Procédure générale d'essai

4.1 Nature de l'essai

Sauf indication contraire, les essais décrits dans cette norme doivent être considérés comme des essais de type.

4.2 Conditions normales d'essai

Sauf spécification contraire, les essais décrits dans cette norme doivent être réalisés dans les conditions normales d'essai données dans le Tableau 1.

4.3 Essais réalisés dans les conditions normales d'essai

Pour ces essais, on doit enregistrer la valeur de la température, de la pression, de l'humidité relative et du bruit de fond gamma et neutronique au moment de l'essai. Il convient que les valeurs notées soient conformes aux conditions normales d'essai données dans le Tableau 1.

4.4 Essai réalisé avec des variations de grandeurs d'influence

Pour les essais visant à déterminer les effets des variations d'une grandeur d'influence (par exemple, température, humidité), il convient que toutes les autres grandeurs d'influence soient maintenues au niveau des conditions normales d'essai données dans le Tableau 1, sauf spécification contraire dans la méthode d'essai applicable.

4.5 Fluctuations statistiques

Pour les essais impliquant l'utilisation de sources radioactives afin de vérifier la susceptibilité de l'instrument à une condition ambiante, électromagnétique ou mécanique donnée, le débit d'équivalent de dose ambiant produit par les sources pour vérifier la réponse du BRD doit être réglé de sorte à réduire l'amplitude des fluctuations statistiques.

¹ Bureau International des Poids et Mesures: Système International d'unités, 8^{ème} édition, 2006.

Si l'amplitude des fluctuations statistiques de l'indication du BRD liées au caractère aléatoire du rayonnement seul correspond à une fraction importante de la variation de l'indication permise dans l'essai, il convient d'accroître le débit d'équivalent de dose ambiant de sorte que la valeur moyenne de ces lectures puisse être estimée avec une précision suffisante pour démontrer la conformité à l'essai concerné.

Il convient que le coefficient de variation (V , exprimé en %) de chaque lecture moyenne nominale soit inférieur ou égal à 12 %. Pour les mesures du bruit de fond neutron ou photon, il peut ne pas être possible d'atteindre un coefficient de variation à même de satisfaire à cette exigence. Aussi, des essais avec des neutrons ou des photons dans les niveaux de bruit de fond (c'est-à-dire des essais sans source radioactive) peuvent être réalisés même lorsque le coefficient de variation est supérieur à 12 %.

La valeur de 12 % a été établie à partir de techniques d'analyse statistique applicables aux essais des dosimètres et a permis de déterminer simplement si un groupe de lectures est acceptable pour les essais de conformité. L'intervalle de temps entre les lectures doit être suffisamment long (supérieur au temps d'intégration de l'instrument) pour assurer l'indépendance des lectures statistiques.

4.6 Incertitudes de mesure

Sauf indication contraire pour une grandeur spécifique, il convient de ne pas laisser les incertitudes associées à chaque grandeur mesurable (par exemple, le champ de rayonnement) dépasser 15 %, avec un facteur d'élargissement $k = 1$.

4.7 Bruit de fond de rayonnement pendant les essais

Les essais doivent être réalisés dans une zone qui présente un rayonnement de bruit de fond naturel nominal avec une variation limitée à la variation naturelle définie dans le Tableau 1.

L'intensité du bruit de fond gamma doit être mesurée à l'aide d'une chambre d'ionisation sous pression ou d'un appareil de mesure du rayonnement ambiant analogue, étalonné de manière à fournir le débit d'équivalent de dose ambiant gamma, $\dot{H}^*(10)$. Lors des essais de BRD spectrométriques, le bruit de fond gamma doit être caractérisé à l'aide d'un spectromètre gamma à haute résolution (par exemple, détecteur de germanium de haute pureté (HPGe)). Les spectres mesurés doivent être enregistrés. Si le BRD est équipé de détecteurs de neutrons, il convient que le bruit de fond neutron corresponde au bruit de fond naturel et il convient de ne pas le modifier artificiellement pendant les essais. Le bruit de fond neutron du lieu d'essai doit être mesuré et enregistré.

L'évaluation du BRD doit être réalisée en l'absence de tout blindage de rayonnement contre le bruit de fond naturel si ces blindages ne font pas partie de l'instrument.

4.8 Configuration du BRD

Le BRD doit être préparé selon les spécifications du fabricant, y compris en ce qui concerne le mode de mise à jour du bruit de fond, le cas échéant. Après préparation en vue des essais, aucune modification susceptible d'influer sur la réponse globale du BRD ne doit être apportée. Si plusieurs modes de mise à jour du bruit de fond sont disponibles, il convient de réaliser les essais dans tous les modes quand les articles correspondants des essais radiologiques l'indiquent.

Lors de la réalisation des essais radiologiques de l'Article 6, le BRD doit être configuré et orienté comme s'il était utilisé. Pour satisfaire à cette exigence, on peut utiliser un fantôme représentant la partie supérieure du torse humain. Le fantôme doit être fait en polyméthacrylate de méthyle (PMMA). Les dimensions du fantôme doivent être 40 cm de largeur, 60 cm de hauteur et 15 cm d'épaisseur.

Le BRD doit être monté sur un support ou une installation dans un matériau qui n'a pas une grosse quantité d'hydrogène (par exemple, mousse, plastique). Il est recommandé d'utiliser des matériaux tels que de l'aluminium pour monter le BRD afin de prévenir toute modération supplémentaire possible de la source de neutrons.

Il convient que le fabricant marque le point de référence du BRD. S'il n'est pas marqué par le fabricant, le point de référence est défini comme étant le point imaginaire représentant l'intersection des trois lignes mutuellement orthogonales passant par le centre de la longueur, de la largeur et de l'épaisseur du BRD (voir Figure 2).

Pour les essais statiques et dynamiques décrits à l'Article 6, le point de référence du BRD doit être placé à 1,5 m du plancher ou du sol. L'axe de la source doit se trouver à la même hauteur que le point de référence du BRD, à savoir à 1,5 m du plancher ou du sol.

Pour les essais statiques, la distance entre la source et l'axe du BRD doit être entre 1 m et 3 m, sauf indication contraire.

Pour les essais dynamiques, la ligne de déplacement de la source et l'axe du détecteur doivent être maintenus parallèles; la distance de rapprochement maximal entre la source et le point de référence du BRD doit être entre 1 m et 3 m, sauf indication contraire; voir Figure 1.

Le fantôme n'est pas utilisé lorsque le BRD est évalué en vue d'une utilisation comme moniteur de rayonnement de terrain autonome. Les BRD utilisés comme moniteurs de rayonnement de terrain sont soumis aux essais si le fabricant le demande.

Lors de l'exécution des essais des Articles 7, 8 et 9, le BRD ne doit pas être installé sur un fantôme. La distance entre le BRD et la source, l'orientation relative et la position entre le BRD et la source du rayonnement doivent être ajustés afin de réduire les fluctuations statistiques comme indiqué en 4.5. La distance d'essai, l'orientation et la position du BRD par rapport à la source doivent être enregistrées pour ces essais. A cause de la nature des essais, il n'est pas nécessaire que cette norme spécifie la distance entre le BRD et la source, l'orientation relative et la position entre le BRD et la source.

4.9 Vitesse de déplacement des sources et temps d'intégration associé à l'identification des radionucléides

Pour les essais statiques, le temps d'intégration exigé pour réaliser une identification de radionucléides doit être égal à celui spécifié par le fabricant ou ne pas dépasser 1 min (selon la valeur la plus faible).

Pendant les essais statiques, la source doit être retirée puis replacée au même endroit entre les séries. Il doit y avoir un délai de 10 s au minimum entre chaque série avec la source positionnée à une distance telle qu'elle n'affecte pas le bruit de fond autour du BRD ou blindée pendant le délai.

Pour les essais dynamiques, la source ou le BRD doivent être déplacés dans une configuration n'offrant aucun blindage autour de la source si ce n'est le blindage exigé pour l'essai concerné. La vitesse de la source doit être égale à $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (vitesse de marche moyenne) si celle-ci est soumise aux essais à la distance de rapprochement maximal de 1,5 m, sauf exigence contraire dans un essai. Si la distance de rapprochement maximal, d (exprimée en m), est réglée entre 1 m et 3 m, la vitesse de passage, v (exprimée en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), doit être réglée sur $v = v_0 \times d/d_0$,

où $v_0 = 1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $d_0 = 1,5 \text{ m}$.

Pendant les essais dynamiques, il doit y avoir un délai de 10 s au minimum entre chaque série avec la source positionnée à une distance telle qu'elle n'affecte pas le bruit de fond autour du BRD ou blindée pendant le délai.

NOTE Pour tous les essais dynamiques, la source et le BRD peuvent être déplacés l'un par rapport à l'autre.

4.10 Sources de rayonnement

Sauf indication contraire, les essais qui impliquent l'utilisation du rayonnement gamma doivent être effectués avec du ^{137}Cs pour les mesures des taux de comptage bruts et avec du ^{241}Am et du ^{60}Co pour l'identification des radionucléides (voir Tableau 1).

La source de référence du rayonnement neutronique est ^{252}Cf . Le taux d'émission de neutrons de la source de ^{252}Cf doit être égal à $20\,000\text{ s}^{-1}$ ($\pm 20\%$) (voir Tableau 1). La source de neutrons de référence non modérée doit être encapsulée dans 1 cm d'acier et doit être blindée avec du plomb de 0,5 cm d'épaisseur afin d'atténuer toute émission de rayon gamma de la source ^{252}Cf . Le plomb doit être placé à l'extérieur de l'encapsulation en acier. La modulation du ^{252}Cf est obtenue par l'ajout autour de la source en présence de l'encapsulation de 1 cm en acier et du blindage de 0,5 cm d'épaisseur de plomb d'un conteneur de 4 cm d'épaisseur de polyéthylène haute densité (PEHD) (par exemple, sphère, cylindre, boîtier).

Les sources doivent être montées sur un support ou une installation dans un matériau qui n'a pas une grosse quantité d'hydrogène (par exemple, mousse, plastique). Il est recommandé d'utiliser des matériaux tels que de l'aluminium pour monter les sources afin de prévenir tout dispersément et toute modulation supplémentaire possible de la source de neutrons.

L'activité et la composition isotopique des différentes matières radioactives naturelles (NORM), comme le zircon, la monazite et l'allanite, varient beaucoup d'un échantillon à l'autre. Des sources ponctuelles sont donc utilisées pour améliorer la cohérence et la traçabilité lors de la réalisation de mesures en des lieux et à des moments différents. On procède à l'approximation des sources NORM brutes en plaçant 9 cm de polyméthacrylate de méthyle (PMMA) autour de sources ^{226}Ra et ^{232}Th (en équilibre avec leurs descendants) produisant chacune le même débit d'équivalent de dose ambiant; voir Annexe D.

La teneur en ^{241}Am des sources de plutonium varie beaucoup, lors des essais réalisés avec du WGPu, le taux d'émission de la ligne 60 keV du ^{241}Am ne doit donc pas être supérieur à 10 fois le taux d'émission de la ligne 414 keV du ^{239}Pu (par exemple, si le taux d'émission du ^{239}Pu est égal à 100 s^{-1} , le taux d'émission du ^{241}Am ne doit pas dépasser $1\,000\text{ s}^{-1}$); voir Annexe C. Le cas échéant, il convient d'utiliser du cuivre ou du cadmium pour réduire la contribution du ^{241}Am . La source WGPu blindée en cuivre ou en cadmium doit être considérée comme la source WGPu nue à utiliser dans tous les essais radiologiques qui exigent l'utilisation de WGPu.

On doit rechercher les éventuelles impuretés émettrices gamma dans toutes les sources radioactives utilisées pour les essais et contrôler la composition isotopique de ces dernières à l'aide d'un détecteur au germanium de haute pureté (HPGe), afin de déterminer l'identification de radionucléides correcte prévue, par le BRD.

Le débit de fluence et le débit d'équivalent de dose ambiant doivent être déterminés avec une énergie de coupure des photons de 40 keV.

Lors des essais réalisés avec des sources ponctuelles produisant un débit d'équivalent de dose ambiant proche ou inférieur aux niveaux de bruit de fond ($0,05\text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$), on doit calculer le débit d'équivalent de dose ambiant comme décrit dans l'Annexe D. Si des rayons parallèles (irradiateur) sont utilisés, le laboratoire d'essai doit décrire et enregistrer la méthode utilisée pour calculer le débit d'équivalent de dose ambiant.

4.11 Essais de fonctionnement

Pour la plupart des essais des Articles 7, 8 et 9, le fonctionnement du BRD est évalué avant et après l'essai; dans certains cas, il l'est également pendant l'essai. La réponse du BRD après l'essai (mesure après essai) est comparée à la réponse mesurée avant l'essai (mesure avant essai). L'emplacement de la source relative au BRD doit donc être la même avant l'essai et après l'essai.

Dans le cas des BRD ne prenant pas en charge la spectrométrie gamma, les mesures de rayonnement gamma sont réalisées avec une source de ^{137}Cs produisant un débit d'équivalent de dose ambiant supérieur ou égal à $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \pm 20 \%$ ($k = 1$) au point de référence du BRD, sauf indication contraire dans un essai.

Dans le cas des BRD prenant en charge la spectrométrie gamma, les mesures de rayonnement gamma sont réalisées avec des sources de ^{241}Am et de ^{60}Co placées simultanément devant le BRD et produisant chacune un débit d'équivalent de dose ambiant supérieur ou égal à $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \pm 20 \%$ ($k = 1$) au point de référence du BRD, sauf indication contraire dans un essai.

Les mesures de neutrons (si applicable) sont effectuées avec la source ^{252}Cf modérée et un taux d'émission de $20\,000 \text{ s}^{-1}$ tel qu'énuméré en 4.10 sauf indication contraire dans un essai.

Il convient de tenir compte des fluctuations statistiques pendant ces essais; voir 4.5.

Les mesures avant essai et après essai doivent être réalisées comme suit:

Mesure avant essai:

- Enregistrer 10 lectures indépendantes du débit d'équivalent de dose ambiant ou du taux de comptage gamma (si le BRD affiche une valeur sans unité, enregistrer le niveau affiché).
- Vérifier que l'alarme gamma est activée.
- Si le BRD est équipé d'un détecteur de neutrons, vérifier que le système indique la présence d'une source de neutrons et enregistrer 10 lectures indépendantes du taux de comptage de neutrons.
- Vérifier que l'alarme neutron est activée.
- Calculer la moyenne et l'écart type des lectures du taux de comptage ou du débit d'équivalent de dose ambiant.
- Si le BRD prend en charge l'identification des radionucléides, enregistrer trois spectres avec un temps d'intégration de 1 min ou le temps d'intégration indiqué par le fabricant (avec le plus court, voir 4.9) et enregistrer les radionucléides identifiés.

Mesure après essai:

- Placer les sources au même emplacement relativement au BRD qu'avant l'essai.
- Enregistrer les mêmes informations que lors des étapes a) à f) avant l'essai.
- Calculer aussi la différence (exprimée en %) entre les lectures du taux de comptage moyen mesuré ou du débit d'équivalent de dose ambiant après l'essai et les valeurs correspondantes mesurées avant l'essai.

Critères d'acceptation:

Les résultats sont acceptables si la variation de la réponse entre la mesure avant essai et la mesure après essai ne dépasse pas les valeurs suivantes:

- $\pm 15 \%$ par rapport aux lectures gamma avant essai.

- ± 15 % par rapport aux lectures neutron avant essai.

Dans le cas des instruments affichant une valeur sans unité, le fabricant doit fournir un tableau permettant de convertir chaque lecture sans unité en réponse gamma et/ou neutron (taux de comptage, débit d'équivalent de dose ambiant). Dans le cas des instruments qui affichent une valeur sans unité, la réponse gamma et neutron après essai ne doit pas différer de plus de ± 1 unité avant l'essai.

Le nombre de résultats d'identification complets et corrects obtenus lors de chaque mesure après essai doit être supérieur ou égal au nombre de résultats d'identification obtenus lors de la mesure avant essai. Par exemple, si, lors d'une mesure avant essai, deux séries sur trois se soldent par des résultats complets et corrects, le nombre de résultats complets et corrects à chaque point de mesure après essai doit être supérieur ou égal à deux.

Selon l'essai environnemental, mécanique ou électromagnétique, la réponse du BRD pendant l'essai peut être vérifiée de deux manières différentes, avec ou sans source radioactive. Dans le cas de la vérification avec sources radioactives, la réponse du BRD pendant l'essai est la même qu'après l'essai. Dans le cas de la vérification sans source radioactive, on observe que la réponse du BRD pendant l'essai ne produit aucune alarme, aucune identification des radionucléides ni aucune fausse indication suite à l'essai environnemental, mécanique ou électromagnétique.

NOTE Lors de l'exécution d'essai séquentiel (par exemple, température puis humidité puis pénétration de l'eau), les tendances des mesures avant essai peuvent indiquer une dégradation des performances du BRD (si les distances entre la source et le détecteur et si les géométries restent les mêmes pendant l'ensemble des essais).

5 Exigences générales

5.1 Masse

5.1.1 Exigences

Il convient que les BRD qui ne prennent pas en charge la spectrométrie gamma pèsent moins de 10 kg, batteries et interface utilisateur externe comprises.

Le fabricant doit indiquer le poids des BRD de type spectromètre gamma.

5.1.2 Méthode d'essai

Peser le BRD avec l'interface utilisateur externe et enregistrer le résultat de la mesure. Vérifier que la documentation du fabricant indique le poids du BRD et de l'interface utilisateur externe. Les résultats de la vérification doivent être enregistrés.

5.2 Exigences de conception

5.2.1 Exigences

Il convient que le BRD soit conçu pour:

- a) Assurer autant que possible une bonne répartition du poids, placer le côté le plus lourd de l'instrument près du dos du porteur et répartir le poids aussi uniformément que possible entre la gauche et la droite de l'instrument pour assurer un bon équilibre,
- b) Être facile à porter et à enlever; être doté de découpes réglables autour des bras et
- c) Ressembler autant que possible à un sac à dos normal.

5.2.2 Méthode d'essai

Le BRD doit être examiné et les résultats de cet examen doivent être enregistrés.

5.3 Marquage

5.3.1 Exigences

La fonction de tous les dispositifs de commande, d'affichage et de réglage externes doit pouvoir être identifiée. Les marquages extérieurs placés sur les dispositifs de commande, d'affichage et de réglage doivent être clairement lisibles et rester en place après l'exécution de procédures normales de décontamination (par exemple, avec un détergent doux et non abrasif à base d'eau). Les dispositifs de commande internes nécessaires au fonctionnement doivent être identifiés au moyen de marquages et apparaître dans les manuels techniques.

5.3.2 Méthode d'essai

Le BRD utilisé doit être examiné et les résultats de cet examen doivent être enregistrés. La procédure de décontamination consiste à nettoyer l'instrument à l'aide d'un savon doux et d'un chiffon humide, mais aussi à vérifier qu'aucun marquage ne disparaît. Vérifier dans les manuels techniques les marquages de contrôles internes.

5.4 Commutateurs

5.4.1 Exigences

Les dispositifs de commande et de réglage influant sur les paramètres d'étalonnage et d'alarme doivent être conçus de sorte à être uniquement accessibles au personnel autorisé.

Il convient que les commutateurs et autres dispositifs de commande soient conçus de telle sorte que le BRD puisse être utilisé convenablement avec des gants sans que les risques d'actionnement accidentel soient trop importants.

5.4.2 Méthode d'essai

Vérifier par un contrôle du BRD ou de la documentation du fabricant que les contrôles et les réglages qui influent sur les paramètres d'étalonnage et d'alarme sont conçus de sorte à être uniquement accessibles au personnel autorisé.

Trois utilisateurs doivent utiliser séparément le BRD, en parcourant les modes et/ou en actionnant les fonctions avec des gants. Chaque utilisateur doit noter si plusieurs commutateurs sont actionnés pendant l'exploitation du BRD. A des fins d'essai, il convient d'utiliser des gants isolants (des gants protégeant du froid) pour vérifier cette exigence.

5.5 Etendue de mesure – Energie

5.5.1 Exigences

L'étendue de la réponse énergétique des photons doit être indiquée par le fabricant; il convient qu'elle aille au moins de 50 keV à 3 000 keV.

5.5.2 Méthode d'essai

Consulter la documentation du fabricant et vérifier que les informations exigées sont fournies. Les résultats de la vérification doivent être enregistrés.

5.6 Etendue de mesure – Taux de comptage

5.6.1 Exigences

Le fabricant doit indiquer l'étendue de mesure du taux de comptage et/ou du débit d'équivalent de dose ambiant gamma associé au ^{137}Cs (662 keV).

Si le BRD prend en charge la détection des neutrons, le fabricant doit indiquer l'étendue de mesure du taux de comptage de neutrons associé au ^{252}Cf non modéré.

Si le BRD prend en charge l'identification des radionucléides, le fabricant doit indiquer le taux de comptage et/ou le débit d'équivalent de dose ambiant gamma maximal associé au ^{137}Cs (662 keV), auquel l'instrument peut procéder à l'identification des radionucléides.

5.6.2 Méthode d'essai

Consulter la documentation du fabricant et vérifier que les informations exigées sont fournies. Les résultats de la vérification doivent être enregistrés.

5.7 Paramètres d'exploitation

5.7.1 Exigences

Le fabricant doit énumérer les valeurs associées aux paramètres d'exploitation recommandés qui peuvent influencer la réponse de l'instrument (par exemple, seuils d'alarme par défaut, tension du détecteur, mode de mise à jour du bruit de fond, gain, bibliothèque de radionucléides, temps d'identification/intégration). Les valeurs fournies par le fabricant doivent être utilisées tout au long des essais.

Les BRD avec des fonctionnalités d'identification des radionucléides doivent avoir une durée d'acquisition variable pour les mesures statiques.

Le fabricant doit indiquer si le BRD peut servir de moniteur de terrain temporaire autonome.

5.7.2 Méthode d'essai

Consulter la documentation du fabricant et inspecter le BRD, vérifier que les informations exigées sont fournies et que le BRD utilise les paramètres d'exploitation recommandés par le fabricant. Enregistrer les résultats de la vérification.

5.8 Atmosphères explosives

5.8.1 Exigences

Le fabricant doit indiquer si le BRD est certifié ou non pour une utilisation dans les atmosphères explosives. S'il affirme que l'instrument est certifié, il doit fournir la documentation correspondante. La certification doit être fondée sur l'IEC 60079-11 ou sur une norme équivalente telle que l'UL 913.

5.8.2 Méthode d'essai

Examiner la documentation fournie par le fabricant. La documentation doit indiquer si le BRD est compatible ou non avec une utilisation dans les atmosphères explosives. Vérifier qu'un certificat de conformité est fourni si le fabricant affirme que le BRD peut être utilisé dans les atmosphères explosives. Enregistrer les résultats de la vérification.

5.9 Diagnostics

5.9.1 Exigences

Le BRD doit en permanence surveiller son bon fonctionnement (par exemple, stabilisation du gain, tension élevée, taux de comptage) et diagnostiquer ses dysfonctionnements sans que l'utilisateur ait à intervenir. Si une source radioactive (interne ou externe) est utilisée dans l'essai de fonctionnement, le fabricant doit fournir la position de cette source, le radionucléide et l'activité de la source.

5.9.2 Méthode d'essai

Le fonctionnement est vérifié au cours du processus d'essai. Les éventuels dysfonctionnements doivent être enregistrés au fur et à mesure qu'ils sont observés, y compris lorsque le BRD a fourni des informations à l'utilisateur. Vérifier la documentation du fabricant et vérifier si une source radioactive (interne ou externe) est utilisée dans un essai de fonctionnement, enregistrer les informations du fabricant sur la position de la source, le radionucléide et l'activité de la source.

5.10 Alimentation électrique

5.10.1 Exigences

- a) Le BRD doit être capable de supporter une durée d'exploitation continue de 8 h sans que les batteries soient remplacées.
- b) Si le BRD prend la spectrométrie en charge, le fabricant doit spécifier le nombre de spectres qui peuvent être enregistrés tout au long de la vie de la batterie.
- c) Il convient que le BRD soit capable de fonctionner avec une source d'alimentation externe (CA ou CC).
- d) Le fabricant doit indiquer la durée d'exploitation continue prévue avec les batteries recommandées, ainsi que les conditions (fonctionnelles et ambiantes) utilisées pour déterminer cette durée.
- e) Si l'accès aux batteries est exigé, le compartiment de batterie doit être accessible sans outil spécial.
- f) Il convient que le BRD soit équipé d'un indicateur visuel direct d'autonomie.
- g) Les chargeurs de batterie fournis doivent satisfaire aux normes électriques appropriées et doivent être pouvoir être exploités avec une alimentation en courant alternatif monophasé qui présente une tension comprise entre 100 V et 240 V et une fréquence comprise entre 47 Hz et 63 Hz.
- h) Il convient que les batteries rechargeables soient complètement rechargées au bout de 4 h lorsqu'elles sont vides.
- i) Si des batteries rechargeables sont utilisées, un voyant ou un dispositif d'affichage analogue doit indiquer lorsque les batteries sont complètement chargées.
- j) La perte de l'alimentation ne doit pas influencer sur les paramètres définis du BRD ni sur les données stockées.
- k) Les marquages qui indiquent l'orientation exigée de la batterie pour le remplacement doivent être clairement visibles pour l'utilisateur.

5.10.2 Méthode d'essai

Les méthodes d'essai suivantes correspondent à la liste d'exigences. Pour commencer l'essai, installer des batteries neuves ou fraîchement chargées.

- a) Allumer le BRD et le laisser en exploitation pendant 8 h dans un environnement de bruit de fond nominal. Chaque heure, exposer le BRD aux sources de vérification ^{137}Cs et au ^{252}Cf modéré (si applicable) pendant 1 min et vérifier que le BRD émet des alarmes. Si le BRD ne fonctionne pas pendant les 8 h complètes, enregistrer le temps écoulé et noter si une condition de batterie faible a été signalée. Remplacer ou recharger la batterie et recommencer deux fois l'opération.
- b) Si le BRD prend la spectrométrie en charge, vérifier les informations fournies par le fabricant qui spécifient le nombre de spectres qui peuvent être acquis et traités tout au long de la vie de la batterie.
- c) Vérifier par un contrôle du BRD.
- d) Procéder à une vérification de la documentation du fabricant.
- e) Vérifier par un contrôle du BRD.

- f) Vérifier par un contrôle du BRD.
- g) Vérifier par un contrôle du BRD ou de la documentation du fabricant.
- h) Pour vérifier, recharger une batterie entièrement déchargée. Au bout de 4 h, vérifier que la batterie est complètement chargée.
- i) Vérifier par un contrôle du BRD et une charge complète de sa batterie.
- j) Vérifier par un contrôle du BRD après avoir remplacé les batteries.
- k) Vérifier par un contrôle du BRD.

5.11 Format des données

5.11.1 Exigences

Si le BRD a la capacité de stocker des données (fichier de sortie de données), les données stockées doivent être regroupées dans des ensembles de données.

Dans le cas des BRD exclusivement dédiés au rayonnement gamma, les données stockées doivent comprendre au minimum les éléments suivants:

- a) Le nom du fabricant
- b) Le modèle de l'instrument
- c) Le numéro de série
- d) La version du logiciel
- e) La classe de l'instrument (par exemple, sac à dos)
- f) Le type du détecteur de rayonnement gamma (par exemple, à l'iodure de sodium (NaI(Tl)), à tube Geiger-Müller (GM), au toluène polyvinyle (PVT))
- g) La date et l'heure de mesure
- h) Les niveaux de rayonnement de bruit de fond mesurés (c'est-à-dire le taux de comptage, le débit d'exposition ou le débit d'équivalent de dose ambiant ou que le nombre de coups, l'exposition ou la dose totaux avec, le cas échéant, la durée de mesure associée)
- i) Les niveaux de rayonnement gamma mesurés (c'est-à-dire le taux de comptage, le débit d'exposition ou le débit d'équivalent de dose ambiant, ou le nombre de coups, l'exposition ou la dose totaux avec, le cas échéant, la durée de mesure associée)
- j) L'indication de l'alarme gamma

De plus, si le BRD prend en charge les fenêtres d'énergie, les données stockées doivent comprendre au minimum les éléments suivants:

- k) Les niveaux de rayonnement gamma mesurés dans chaque fenêtre d'énergie (c'est-à-dire le taux de comptage et/ou le nombre de coups avec la durée de mesure associée)
- l) L'indication de l'alarme de fenêtre d'énergie

De plus, si le BRD prend en charge la détection des neutrons, les données stockées doivent comprendre au minimum les éléments suivants:

- m) Le type du détecteur de neutrons (par exemple, à l'hélium 3 (^3He), au verre au lithium)
- n) Le niveau de neutrons du bruit de fond (c'est-à-dire le taux de comptage et/ou le nombre de coups avec la durée de mesure et l'indication de niveau associées)
- o) Les niveaux de rayonnement neutronique mesurés (c'est-à-dire le taux de comptage et/ou le nombre de coups avec la durée de mesure associée)
- p) L'indication de l'alarme neutron

De plus, si le BRD prend en charge l'identification des radionucléides, les données stockées doivent comprendre au minimum les éléments suivants:

- q) Le spectre de bruit de fond

- r) Le temps actif et le temps réel associés au spectre de bruit de fond
- s) Le spectre mesuré non traité
- t) Le temps actif et le temps réel associés au spectre mesuré
- u) L'étalonnage en énergie de chaque spectre de bruit de fond et mesuré
- v) Les résultats de l'identification des radionucléides
- w) L'indication de confiance

De plus, si le BRD prend en charge la géolocalisation (par exemple, GPS), l'ensemble de données:

- x) Doit comprendre la position du BRD (latitude et longitude)
- y) Peut inclure les informations de position dans un fichier de type KML

De plus, il convient que le BRD stocke les données suivantes lorsqu'il est exigé que l'instrument fournisse ces réponses:

- z) Les modes d'exploitation (par exemple, mode "recherche" et mode "moniteur")
- aa) Les paramètres de fonctionnement
- bb) L'indication de l'état de la batterie
- cc) Les défaillances système
- dd) Les résultats des diagnostics
- ee) Les modifications de l'état de fonctionnement (par exemple, alarme, surveillance du bruit de fond, défaut, arrêt, recherche)
- ff) L'indication du dépassement de l'étendue de mesure pour la détection
- gg) L'indication des variations du bruit de fond qui peuvent influencer sur la sensibilité globale de l'instrument
- hh) Le débit de compte bas pour l'identification
- ii) Le débit de compte haut pour l'identification
- jj) L'indication du dépassement de l'étendue de mesure pour l'identification

Les données de sortie doivent se trouver au format XML N42 (voir IEC 62755).

5.11.2 Méthode d'essai

Exposer le BRD aux sources de ^{241}Am et ^{60}Co de référence, placées à une distance telle que le signal gamma soit assez fort, mais pas suffisamment pour que le BRD émette une alarme gamma. Rapprocher les sources gamma du BRD de sorte à déclencher une alarme gamma. De la même manière, si le BRD est équipé d'un détecteur de neutrons, recommencer la procédure en remplaçant les sources gamma par une source de ^{252}Cf modéré de référence.

Si le BRD prend en charge l'identification des radionucléides et qu'il a besoin que l'utilisateur lance une identification, placer les sources de ^{241}Am et de ^{60}Co de référence à une distance telle que l'instrument détecte une augmentation du signal gamma (un champ au moins $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ au-dessus du bruit de fond de chaque source), et réaliser une mesure d'1 min ou de la durée indiquée par le fabricant (avec la plus courte).

Si le BRD prend en charge la géolocalisation, vérifier qu'il enregistre la longitude et la latitude réelles.

Vérifier que toutes ces mesures sont bien enregistrées dans l'ordre chronologique dans l'ensemble de données. Vérifier que l'ensemble de données contient les éléments de données énumérés dans les exigences. Utilisez les outils XML pour vérifier la conformité à la norme IEC 62755. Vérifier que le document XML contenant les informations de l'ensemble de données respecte le schéma N42 (voir l'IEC 62755).

NOTE Un outil de validation peut être obtenu à l'adresse <https://secwww.jhuapl.edu/n42/Account/LogOn>.

5.12 Stockage des données

5.12.1 Exigences

Si le BRD a la capacité de stocker des données, sa mémoire doit être suffisante pour stocker toutes les données en conditions d'alarme pendant la durée d'exploitation de ce dernier (8 h). Lorsque la mémoire de données est pleine, il convient que les données des nouveaux événements de mesure viennent écraser celles des événements existants. Les ensembles de données les plus anciens qui ne font pas référence à des conditions d'alarme doivent être écrasés en premier (premier entré, premier sorti (FIFO)). Une fois tous les ensembles de données ne faisant pas référence à des conditions d'alarme supprimés, l'ensemble de données le plus ancien qui fait référence à des conditions d'alarme doit être écrasé en premier (FIFO).

5.12.2 Méthode d'essai

Procéder à une vérification en examinant le manuel fourni et en examinant le BRD pendant l'exécution de l'essai.

NOTE En fonction des capacités de stockage des données du BRD pendant les mesures du bruit de fond et de source, les résultats des essais "d'alimentation" pourraient être utilisés pour vérifier les exigences de stockage des données.

5.13 Interface de communication

5.13.1 Exigences

Si le BRD a la capacité de stocker des données, il doit pouvoir en transférer à un appareil externe, par exemple un ordinateur. Il convient que ce type de transfert s'effectue via un port bidirectionnel qui satisfait aux exigences des supports Ethernet, USB et sans fil, mais aussi d'autres supports électroniques tels qu'un appareil multimédia amovible. Il convient de porter une attention particulière à la sécurité des données lors de l'utilisation de techniques de transfert de données sans fil. La technique de communication utilisée doit être conforme aux protocoles IEEE applicables. Les protocoles de communication doivent être décrits dans le manuel technique et aucun format propriétaire ne doit être utilisé.

Le BRD doit pouvoir être exploité indépendamment de tout appareil périphérique et de toute station déportée; il ne doit pas être affecté en cas de dysfonctionnement d'un appareil périphérique.

5.13.2 Méthode d'essai

Procéder à une vérification en examinant la documentation fournie par le fabricant et en transmettant les données collectées par le BRD selon 5.11.2. Enregistrer les résultats de la vérification.

Pour vérifier que le BRD est en mesure d'être exploité indépendamment de tout appareil périphérique et de toute station déportée, débrancher les appareils périphériques et les stations déportées éventuellement présents pendant la collecte des données comme décrit dans 5.11.2. Vérifier que le BRD peut être utilisé comme décrit dans la documentation fournie par le fabricant. Enregistrer les résultats de la vérification.

5.14 Interface utilisateur

5.14.1 Affichage

5.14.1.1 Exigences

Le BRD doit être doté d'une unité d'affichage externe qui peut être portée par l'utilisateur. L'affichage doit être lisible au moins entre 150 lux et 10 000 lux.

5.14.1.2 Méthode d'essai

L'unité d'affichage doit être exposée à 150 lux (–30 %, $k = 1$) et à 10 000 lux (+30 %, $k = 1$). L'affichage doit être lisible au niveau de lumière faible et au niveau de lumière forte, par 3 utilisateurs. Vérifier que toutes les indications sont lisibles à 150 lux et à 10 000 lux. Exposer le BRD aux sources d'essai ^{137}Cs et ^{252}Cf et vérifier que les indications d'alarme sont visibles à 150 lux et à 10 000 lux. Enregistrer les résultats des observations.

5.14.2 Indications de base

5.14.2.1 Exigences

L'interface utilisateur doit fournir les indications suivantes:

- a) La réponse du détecteur (débit d'équivalent de dose ambiant gamma et/ou taux de comptage et, le cas échéant, taux de comptage neutron).
- b) Etat de la batterie.

Le fabricant doit indiquer la fréquence de mise à jour de toutes les indications affichées par l'interface utilisateur. Il convient que l'indication du débit d'équivalent de dose ambiant et/ou du taux de comptage gamma et neutron (le cas échéant) soit mise à jour au minimum toutes les secondes.

5.14.2.2 Méthode d'essai

Exposer le BRD à la source ^{137}Cs et ^{252}Cf modérée. L'affichage doit être observé pour vérifier le type de réponse que le BRD affiche. Examiner la documentation fournie par le fabricant et vérifier la fréquence de mise à jour.

Vérifier que l'état de la batterie est affiché. Enregistrer les résultats de la vérification.

5.14.3 Indications complémentaires

5.14.3.1 Exigences

L'interface utilisateur doit afficher automatiquement les indications suivantes:

- a) L'indication de l'alarme (visuelle, sonore et vibrante), avec le type (gamma et/ou neutron) et le niveau (réglable par l'utilisateur) correspondants.
- b) Les modifications de l'état de santé (c'est-à-dire l'état de la communication, l'état du détecteur, l'état de la géolocalisation, la stabilisation de l'énergie).
- c) L'indication du dépassement de l'étendue de mesure.
- d) Les variations des champs de rayonnement qui peuvent influencer sur la réponse globale de l'instrument.

Il convient que l'interface utilisateur affiche ce qui suit:

- e) La possibilité d'afficher simultanément les données de géolocalisation et de réponse du détecteur, le cas échéant (par exemple, carte qui indique les données d'alarme).

5.14.3.2 Méthode d'essai

Les affichages au niveau de l'interface utilisateur sont vérifiés pendant les essais:

- a) L'indication de l'alarme (visuelle, sonore et vibrante), avec le type (gamma et/ou neutron) et le niveau (réglable par l'utilisateur) correspondants, est vérifiée en 6.2 et en 6.3.
- b) Les modifications de l'état de santé (c'est-à-dire l'état de la communication, l'état du détecteur, l'état de la géolocalisation, la stabilisation de l'énergie) sont vérifiées tout au long de l'essai radiologique de l'Article 6.
- c) L'indication du dépassement de l'étendue de mesure est vérifiée en 6.7.
- d) Les variations des champs de rayonnement qui peuvent influencer sur la capacité de réponse globale de l'instrument sont vérifiées en 6.9.
- e) Le cas échéant, on vérifie la possibilité d'afficher simultanément les données de géolocalisation et de réponse du détecteur en examinant la documentation fournie par le fabricant ou le BRD.

5.14.4 Indications des BRD prenant en charge l'identification des radionucléides

5.14.4.1 Exigences

Les indications et fonctions suivantes doivent être fournies lorsque l'instrument prend en charge l'identification:

- a) Les résultats de l'identification des radionucléides.

Il convient également qu'il propose:

- b) Un indicateur de confiance.
- c) La possibilité d'accéder aux spectres.

Le fabricant doit indiquer la fréquence de mise à jour des mesures d'identification en temps réel (dynamique).

5.14.4.2 Méthode d'essai

Si le BRD prend en charge l'identification des radionucléides, vérifier que les résultats de l'identification et l'indicateur de confiance sont affichés. Contrôler que le BRD est en mesure d'accéder aux spectres. Examiner la documentation fournie par le fabricant et vérifier la fréquence de mise à jour. Enregistrer les résultats de la vérification.

5.14.5 Indications des BRD prenant en charge l'orientation des radionucléides

5.14.5.1 Exigences

Les indications et fonctions suivantes doivent être fournies lorsque l'instrument prend en charge l'orientation:

- a) Le pointeur directionnel

5.14.5.2 Méthode d'essai

Lorsque l'instrument prend en charge l'orientation, l'indication et les fonctions associées au pointeur directionnel sont vérifiées en 6.6.

5.14.6 Fonctions et commandes de base

5.14.6.1 Exigences

L'interface utilisateur doit fournir les fonctions et commandes suivantes:

- a) La possibilité de réinitialiser les alarmes
- b) La possibilité de neutraliser les alarmes sonores
- c) La possibilité de passer en mode silencieux (neutralisation des émissions radioélectriques, des émissions acoustiques et des vibrations perceptibles)
- d) La possibilité de modifier la date et l'heure
- e) La possibilité de réinitialiser (réenregistrer) le bruit de fond si le BRD prend en charge cette fonction
- f) La possibilité de soumettre à essai les alarmes visuelles ou sonores sans utiliser de source de rayonnement

5.14.6.2 Méthode d'essai

Vérifier par un contrôle de la ou des documentations(s) du fabricant et via les fonctions suivantes du BRD:

- a) Réinitialisation des alarmes
- b) Neutralisation des alarmes sonores
- c) Passage en mode silencieux (neutralisation des émissions radioélectriques, des émissions acoustiques et des vibrations perceptibles)
- d) Modification de la date et de l'heure
- e) Réinitialisation (réenregistrement) du bruit de fond
- f) Activation des alarmes visuelles et sonores sans utiliser de source de rayonnement

Enregistrer les résultats de la vérification.

5.14.7 Fonctions et commandes restreintes

5.14.7.1 Exigences

Les informations et commandes suivantes doivent être fournies au moyen de contrôles d'accès ou de commandes spéciales via l'interface utilisateur ou un ordinateur externe:

- a) L'accès aux paramètres d'exploitation et le contrôle de ces paramètres
- b) L'accès à l'historique des alarmes
- c) L'accès aux profils de variation du taux de comptage, y compris celui du rayonnement gamma et, le cas échéant, du rayonnement neutronique, en fonction du temps
- d) L'accès aux informations de rayonnement de bruit de fond, lorsque des mesures de bruit de fond sont disponibles
- e) L'accès aux critères de sélection des alarmes
- f) L'accès à la bibliothèque de radionucléides (en cas de prise en charge de l'identification des radionucléides)

5.14.7.2 Méthode d'essai

Vérifier par un contrôle de la ou des documentations(s) du fabricant et via les actions suivantes du BRD:

- a) Accès aux paramètres d'exploitation pour vérifier la satisfaction de l'exigence

- b) Accès à l'historique des alarmes pour vérifier la satisfaction de l'exigence
- c) Accès aux profils de variation du taux de comptage, y compris celui du rayonnement gamma et, le cas échéant, du rayonnement neutronique, en fonction du temps, pour vérifier la satisfaction de l'exigence
- d) Accès aux informations relatives au rayonnement de bruit de fond, le cas échéant, pour vérifier la satisfaction de l'exigence
- e) Accès aux critères de sélection des alarmes pour vérifier la satisfaction de l'exigence
- f) Accès à la bibliothèque de radionucléides (en cas de prise en charge de l'identification des radionucléides) pour vérifier la satisfaction de l'exigence

Enregistrer les résultats de la vérification.

6 Exigences de détection de rayonnement

6.1 Essai de fausse alarme

6.1.1 Exigences

En cas d'essai dans une zone présentant un bruit de fond stable (fluctuations naturelles uniquement) aux niveaux indiqués dans le Tableau 1, le taux de fausse alarme doit être inférieur à 1 alarme par heure.

6.1.2 Méthode d'essai

- a) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- b) Le point de référence du BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol.
- c) Le BRD doit être installé devant le fantôme, voir Figure 1.
- d) Observer le BRD pendant 10 h dans une zone qui présente un bruit de fond stable et contrôlé. Enregistrer l'ensemble des alarmes et des radionucléides identifiés (si applicable) qui se sont affichés pendant la période de 10 h.
- e) Les résultats sont acceptables si 5 alarmes maximum se déclenchent pendant l'intervalle d'essai (avec la limite supérieure de confiance à 95 % pour une distribution de Poisson; voir Annexe A).

Le cas échéant, répéter les étapes a) à e) pour tous les modes d'exploitation de bruit de fond de BRD possibles.

NOTE Il peut être nécessaire de remplacer la batterie pendant l'essai.

6.2 Réponse des alarmes au rayonnement photonique

6.2.1 Exigences

Une alarme doit se déclencher lorsque le niveau de rayonnement mesuré est supérieur au réglage de l'alarme. Cette exigence doit être vérifiée à l'aide de ^{60}Co , de ^{137}Cs et de ^{241}Am nus pour des angles compris entre 0° et 90° , et entre 270° et 360° , dans deux plans orthogonaux (voir Figure 1 et Figure 2). Chacune de ces sources doit se déplacer à une vitesse de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (à une distance de rapprochement maximal de 1,5 m) et produire un débit de fluence photonique de $4 \text{ photons}\cdot\text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ($\pm 5 \%$, $k = 1$) au point de référence du BRD, au point de rapprochement maximal. Les alarmes doivent s'activer au maximum 2 s après le passage de la source par le point le plus proche du BRD. La réponse est également acceptable si l'alarme gamma s'active avant que la distance la plus proche ne soit atteinte.

6.2.2 Méthode d'essai

- a) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.

- b) Le point de référence du BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol (comme le centre de la source).
- c) Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- d) La Figure 1 présente le montage d'essai utilisé lorsque le BRD est soumis à l'essai en position verticale.
- e) Le BRD est soumis à un essai avec chaque source qui dépasse le BRD à une distance de rapprochement maximal de 1,5 m et à une vitesse de $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- f) La distance de rapprochement maximal de la source au point de référence du BRD peut varier entre 1 m et 3 m; la vitesse de $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ doit être ajustée comme décrit en 4.9 si la distance de rapprochement maximal utilisée pour l'essai n'est pas égale à 1,5 m.
- g) L'angle de référence de 0° du BRD doit faire face à la source; voir Figure 1.
- h) La source ^{60}Co doit lancer son mouvement d'une position dans laquelle le BRD n'est pas en mesure de détecter sa présence, passer devant ce dernier, puis s'arrêter dans une position dans laquelle il ne détecte non plus sa présence.
- i) La source ^{60}Co doit fournir un débit de fluence de $4 \text{ photons s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ($\pm 10 \%$, $k = 1$) à une distance de rapprochement maximal entre le point de référence du BRD et le centre de la source.

NOTE 1 On peut obtenir ce débit de fluence photonique en réglant la distance entre la source et le BRD. L'Annexe C explique comment obtenir le débit de fluence photonique exigé. Les données relatives au débit de fluence font référence à l'air, c'est-à-dire sans le fantôme.

- j) Le BRD doit émettre une alarme 2 s au maximum après avoir atteint le point de rapprochement maximal de la source (débit de fluence photonique de $4 \text{ photons s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$). La réponse est également acceptable si l'alarme gamma s'active avant que le champ de $4 \text{ photons} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ne soit atteint.
- k) L'alarme du BRD doit être réinitialisée entre chaque série, le cas échéant.
- l) Il doit y avoir un délai de 10 s au minimum entre chaque série avec la source positionnée à une distance telle qu'elle n'affecte pas le bruit de fond autour du BRD ou blindée pendant le délai.
- m) Répéter l'essai 9 fois, soit au total 10 séries.
- n) L'ensemble du BRD et le fantôme doivent être tournés aux angles 45° , 90° , 270° et 315° tel qu'illustré à la Figure 1 sur le plan horizontal (180° de couverture sur le côté du BRD où le fantôme n'est pas entre la source et le BRD) et sur le plan vertical; voir la Figure 2. Les étapes a) à m) doivent être répétées pour chaque angle. L'essai doit être réalisé avec le sac à dos placé verticalement et horizontalement par rapport au sol; voir Figure 2.

NOTE 2 Pour exécuter les essais en orientation verticale, on peut placer le fantôme sur une surface et le faire tourner par rapport à la position source.

- o) Pour chaque angle, le point de référence du BRD doit être utilisé pour mesurer la distance de rapprochement maximal entre la source et le détecteur. La distance de rapprochement maximal entre la source et le détecteur doit être la même pour tous les angles.
- p) Les performances sont acceptables si le BRD émet une alarme lors de 96 séries sur 100 pour chaque source (ce qui correspond à une probabilité comprise entre 0,9 et 0,95, avec un intervalle de confiance à 95 %).

NOTE 3 On compte un total de 100 séries par source; en effet, pour chaque source, l'essai est composé de 5 angles dans le plan horizontal et de 5 angles dans le plan vertical, donc un total de 10 angles; or, on compte 10 séries par angle.

- q) Répéter les étapes a) à p) pour ^{137}Cs et ^{241}Am .

Le cas échéant, répéter les étapes a) à q) pour tous les modes d'exploitation bruit de fond de BRD possibles.

Si le BRD prend en charge les fenêtres d'énergie, la documentation fournie par le fabricant doit énumérer les paramètres de la fenêtre d'énergie (comme les valeurs de début et de fin

des fenêtres d'énergie), ainsi que l'indication d'alarme étendue pour les sources ^{60}Co , ^{137}Cs et ^{241}Am . Vérifier que, pour chaque source et angle (étapes a) à q)), l'alarme de fenêtre d'énergie attendue est déclenchée. Les performances sont acceptables si les bonnes alarmes de fenêtres d'énergie du BRD se déclenchent lors de 96 séries sur 100 pour chaque source.

6.3 Réponse des alarmes au rayonnement neutronique

6.3.1 Exigences

Si le BRD est équipé d'un détecteur de neutrons, une alarme doit se déclencher lorsque le point de référence du BRD est exposé à un taux d'émission de neutrons ^{252}Cf de $20\,000\text{ s}^{-1}$ ($\pm 20\%$, $k = 1$), à une vitesse transitoire de $1,2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; la distance de rapprochement maximal doit alors être égale à 1 m. Cette exigence doit être vérifiée à l'aide de ^{252}Cf modéré (voir Tableau 1) pour des angles compris entre 0° et 90° et entre 270° et 360° , dans deux plans orthogonaux (voir Figure 1 et Figure 2). Les alarmes doivent s'activer au maximum 3 s après le passage de la source par le point de rapprochement maximal du BRD. La réponse est également acceptable si l'alarme neutron s'active avant que la source n'atteigne le point de rapprochement maximal.

6.3.2 Méthode d'essai

- Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- Le point de référence du BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol (comme le centre de la source).
- Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- Le BRD est soumis à un essai avec la source ^{252}Cf modérée avec un taux d'émission de $20\,000\text{ s}^{-1}$ ($\pm 20\%$, $k = 1$) qui dépasse le BRD à $1,2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; voir 4.10.
- La distance de rapprochement maximal du point de référence du BRD est 1 m.
- L'angle de référence de 0° du BRD doit faire face à la source; voir Figure 1.
- La source ^{252}Cf modérée doit lancer son mouvement d'une position dans laquelle le BRD n'est pas en mesure de détecter sa présence, passer devant ce dernier, puis s'arrêter dans une position dans laquelle il ne détecte non plus sa présence.
- L'instrument doit émettre une alarme au maximum au bout de 3 s d'exposition au point de rapprochement maximal du BRD. La réponse est acceptable si l'alarme neutron s'active avant que la source n'atteigne la distance de rapprochement maximal.
- L'alarme du BRD doit être réinitialisée entre chaque série, le cas échéant.
- Il doit y avoir un délai de 10 s au minimum entre chaque série avec la source positionnée à une distance telle qu'elle n'affecte pas le bruit de fond autour du BRD ou blindée pendant le délai.
- Répéter l'essai 9 fois, soit au total 10 séries.
- L'ensemble du BRD et le fantôme doivent être tournés aux angles 45° , 90° , 270° et 315° comme illustré à la Figure 1 sur le plan horizontal (180° de couverture sur le côté du BRD où le fantôme n'est pas entre la source et le BRD) et sur le plan vertical; voir la Figure 2. Les étapes a) à k) doivent être répétées pour chaque angle. L'essai doit être réalisé avec le sac à dos placé verticalement et horizontalement par rapport au sol; voir Figure 2.

NOTE 1 Pour exécuter les essais en orientation verticale, on peut placer le fantôme sur une surface et le faire tourner par rapport à la position source.

- Pour chaque angle, le point de référence du BRD doit être utilisé pour mesurer la distance de rapprochement maximal entre la source et le détecteur. La distance de rapprochement maximal entre la source et le détecteur doit être la même pour tous les angles.
- Les performances sont acceptables si le BRD émet une alarme lors de 96 séries sur 100 pour chaque source (ce qui correspond à une probabilité comprise entre 0,9 et 0,95, avec un intervalle de confiance à 95 %).

NOTE 2 On compte un total de 100 séries par source; en effet, pour chaque source, l'essai est composé de 5 angles dans le plan horizontal et de 5 angles dans le plan vertical, donc un total de 10 angles; or, on compte 10 séries par angle.

Le cas échéant, répéter les étapes a) à n) pour tous les modes d'exploitation bruit de fond de BRD possibles.

NOTE 3 La présence du fantôme modifiera le spectre d'énergie de la source de neutrons, mais la distance de rapprochement maximal entre la source et le détecteur est maintenue constante pendant l'essai.

6.4 Alarme personnelle de protection contre le rayonnement et temps de réponse

6.4.1 Exigences

L'instrument doit émettre une alarme quand il est exposé à une augmentation du niveau de rayonnement ambiant supérieure au seuil de l'alarme de protection personnelle, dans les 2 s qui suivent le changement d'échelon. Il convient que le fabricant indique la valeur du seuil de l'alarme.

6.4.2 Méthode d'essai

- a) Vérifier que le fabricant indique la valeur du seuil de l'alarme personnelle de protection contre le rayonnement. Enregistrer le résultat de la vérification.
- b) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- c) Il n'est pas nécessaire que le point de référence du BRD se trouve à 1,5 m du plancher ou du sol; la hauteur entre le point de référence du BRD et le plancher ou le sol utilisée pour l'essai doit être enregistrée.
- d) Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- e) A l'aide d'une source de ^{137}Cs , augmenter le débit d'équivalent de dose ambiant au point de référence du BRD de sorte qu'il dépasse de 30 % le seuil de l'alarme de protection personnelle en 1 s au maximum. . Laisser la source ^{137}Cs devant le BRD pendant au moins 30 s.
- f) Vérifier que cette augmentation du champ de rayonnement déclenchée par l'alarme de protection personnelle est inférieure ou égale à 2 s.
- g) Répéter les étapes a) à f) pour 2 séries de plus, soit au total 3 séries.
- h) Les performances sont acceptables si le BRD génère des alarmes en 2 s au maximum dans 3 séries sur 3.

Le cas échéant, répéter les étapes b) à h) pour tous les modes d'exploitation de BRD possibles (par exemple, bruit de fond, d'identification).

6.5 Indication du débit d'équivalent de dose ambiant gamma

6.5.1 Exigences

Si le BRD fournit une indication du débit d'équivalent de dose ambiant gamma, la différence dans la réponse du BRD au débit de dose ambiant de référence du ^{137}Cs ne doit pas dépasser $\pm 30\%$ pour des débits d'équivalent de dose ambiant compris entre $1\ \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ et la valeur maximale de l'instrument telle qu'indiquée par le fabricant.

6.5.2 Méthode d'essai

- a) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8. La distance entre la source et le BRD peut être réglée de sorte à obtenir les champs de rayonnement exigés.
- b) Il n'est pas nécessaire que le point de référence du BRD se trouve à 1,5 m du plancher ou du sol; la hauteur entre le point de référence du BRD et le plancher ou le sol utilisée pour l'essai doit être enregistrée.
- c) Le BRD doit être installé sur le fantôme.

- d) Utilisez ^{137}Cs pour produire un débit d'équivalent de dose ambiant de $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 10 \%$, $k = 1$), $50 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 10 \%$, $k = 1$) et 80% ($\pm 10 \%$, $k = 1$) de la réponse maximale au point de référence du BRD telle qu'indiquée par le fabricant. Utiliser l'Annexe D pour déterminer le débit d'équivalent de dose ambiant.
- e) Enregistrer 10 lectures du BRD pour chacun des trois débits d'équivalent de dose ambiant; calculer leur valeur moyenne et leur écart type.
- f) Le débit d'équivalent de dose ambiant moyen indiqué par le BRD doit être dans les 30 % de chaque débit d'équivalent de dose ambiant appliqué.

Le cas échéant, répéter les étapes a) à f) pour tous les modes d'exploitation bruit de fond de BRD possibles.

6.6 Dépendance angulaire et vérification de l'indication directionnelle

6.6.1 Exigences

La réponse angulaire (taux de comptage, débit d'équivalent de dose ambiant, niveau de rayonnement) du BRD doit être indiquée par le fabricant pour le ^{241}Am , le ^{137}Cs et le ^{60}Co , mais aussi pour le ^{252}Cf modéré (lorsque le BRD est équipé d'un détecteur de neutrons). Il convient que la réponse du BRD soit cohérente avec l'indication du fabricant sur toute la rotation de 360° sur le plan horizontal (axe de la source et du BRD, voir Figure 1). Cette exigence doit être vérifiée à l'aide de ^{241}Am , de ^{137}Cs et de ^{60}Co , mais aussi de ^{252}Cf modéré pour les neutrons. Pour chaque source, la réponse angulaire du BRD dans le plan horizontal doit être mesurée de 0° à 360° par incréments de 45° .

De plus, si une indication directionnelle est fournie, chacune des directions d'exposition doit être indiquée sur le BRD.

6.6.2 Méthode d'essai

- a) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- b) Le point de référence du BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol (comme le centre de la source).
- c) Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- d) Pour déterminer la réponse angulaire, on doit placer chaque source autour du BRD par incréments de 45° sur le plan horizontal, chaque source étant placée à une distance minimale de 50 cm.
- e) Pour chaque angle, le point de référence du BRD doit être utilisé pour mesurer la distance entre la source et le détecteur. La distance entre la source et le détecteur doit être la même pour tous les angles et toutes les sources. Enregistrer la distance entre la source et le détecteur utilisée pour l'essai.
- f) Pour chacune des sources gamma, il convient que le débit d'équivalent de dose ambiant au point de référence du BRD à l'angle de référence (0°) soit au moins égal à $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 10 \%$, $k = 1$) au-dessus du fond. Enregistrer le débit d'équivalent de dose ambiant utilisé pour l'essai.
- g) L'angle de référence de 0° du BRD (dans le plan source horizontal) doit faire face à la source; voir Figure 1 et Figure 2. Le BRD doit être placé verticalement par rapport à la surface du sol.
- h) Placer le ^{241}Am à l'angle de référence 0° et à la distance prédéterminée entre la source et le détecteur pendant au moins 30 s. Enregistrer 10 lectures du BRD (par exemple, taux de comptage, débit d'équivalent de dose ambiant) pour déterminer l'écart moyen et normal de la réponse.
- i) Pour les BRD avec une indication directionnelle, enregistrer la direction source fournie par le BRD. Il convient que chaque direction indiquée ne diffère pas de plus de $\pm 15^\circ$ de la direction réelle. Dans le cas des instruments ne fournissant pas d'indication d'angle

numérique, il convient que l'indication directionnelle non numérique soit claire et non ambiguë. Pour évaluer les résultats de ces BRD, diviser la zone entourant le BRD en 4 sections. Pour la vérification, la tolérance de $\pm 15^\circ$ pourrait être utilisée pour les limites entre les sections

- j) L'ensemble du BRD et le fantôme doivent être tournés aux angles 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° et 315° tel qu'illustré à la Figure 1 sur le plan horizontal (360° de couverture). Les étapes a) à i) doivent être répétées pour tous les angles.
- k) Comparer la réponse moyenne du BRD à chaque angle et pour chaque source avec celle indiquée par le fabricant. Réaliser les mesures et enregistrer les résultats sans tenir compte de la documentation fournie par le fabricant.
- l) Répéter les étapes a) à k) pour ^{137}Cs et ^{60}Co .

Pour vérifier l'exigence de la source de neutrons, placer la source de neutrons ^{252}Cf modérée (voir 4.10) avec un taux d'émission de $20\,000\text{ s}^{-1}$ à une distance de 1 m du point de référence du BRD et répéter les étapes a) à c), e) et g) à k) décrites ci-dessus.

6.7 Essai de dépassement de l'étendue de mesure

6.7.1 Exigences

Si un BRD est exposé à un champ de rayonnement supérieur au débit d'équivalent de dose ambiant maximal indiqué par le fabricant, une alarme indiquant par exemple "dépassement de l'étendue de mesure" ou "nombre de coups élevé" doit s'activer et doit rester active jusqu'à réduction du champ de rayonnement ou réinitialisation/acquittement de l'alarme par l'utilisateur. Si l'alarme est réinitialisée/acquittée par l'utilisateur sans que le champ de rayonnement soit réduit, une indication visuelle doit signaler que le champ de rayonnement est toujours présent et que le BRD n'est pas totalement opérationnel.

Le temps exigé pour revenir à des conditions de non-alarme après que le débit d'équivalent de dose ambiant a retrouvé les niveaux de bruit de fond ne doit pas dépasser 1 min.

6.7.2 Méthode d'essai

- a) Vérifier que le fabricant indique le débit d'équivalent de dose ambiant maximal. Enregistrer le résultat de la vérification. L'essai n'est pas effectué si le débit d'équivalent de dose ambiant maximal n'est pas fourni par le fabricant.
- b) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- c) Il n'est pas nécessaire que le point de référence du BRD se trouve à 1,5 m du plancher ou du sol; la hauteur entre le point de référence du BRD et le plancher ou le sol utilisée pour l'essai doit être enregistrée.
- d) Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- e) Lancer un cycle de surveillance avec exploitation du BRD dans un bruit de fond stable.
- f) L'utilisation de ^{137}Cs augmente le champ de rayonnement à 50 % au-dessus du maximum indiqué par le fabricant comme mesuré au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD (voir Figure 1).
- g) Le BRD doit émettre une alarme et celle-ci doit rester active jusqu'à ce que le champ de rayonnement retrouve son niveau avant essai. Le BRD doit afficher une indication du type "dépassement de l'étendue de mesure" ou "nombre de coups élevé".
- h) Retirer le champ de rayonnement et mesurer le temps nécessaire pour que le BRD revienne aux valeurs de taux de comptage avant essai. Vérifier que ce temps est inférieur ou égal à 1 min.
- i) Vérifier que l'affichage de dépassement de l'étendue de mesure disparaît quand le champ de rayonnement est retiré.
- j) Le BRD doit émettre une alarme puis reprendre lors de 3 séries successives.

Si l'alarme peut être réinitialisée/acquittée par l'utilisateur sans que le champ de rayonnement soit réduit, vérifiez qu'une indication visuelle signale que le champ de rayonnement est toujours présent et que le BRD n'est pas totalement opérationnel pendant que le champ de rayonnement est présent.

6.8 Indication de neutrons en présence de photons

6.8.1 Exigences

Le rayonnement gamma correspondant à des débits d'équivalent de dose ambiant inférieurs ou égaux à $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ avec des énergies gamma inférieures à 662 keV ne doit pas entraîner le déclenchement de l'alarme neutron. De plus, le BRD doit être en mesure de détecter une augmentation du rayonnement neutronique lorsqu'il est exposé au rayonnement gamma.

NOTE Cette exigence ne s'applique pas aux BRD exclusivement dédiés au rayonnement gamma.

6.8.2 Méthode d'essai

- Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- Le point de référence du BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol (comme le centre de la source).
- Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- A l'aide d'une source ^{137}Cs , augmenter le débit d'équivalent de dose ambiant gamma de $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 10 \%$, $k = 1$) au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD (voir Figure 1) pendant au minimum 30 s.
- Enregistrer toutes les alarmes affichées par le BRD.
- Retirer la source de rayonnement, attendre que le BRD repasse en fonctionnement normal et répéter l'essai pour un total de 3 séries.
- L'immunité des détecteurs de neutrons au rayonnement gamma est confirmée si aucune alarme neutron ne se déclenche pendant l'exposition au rayonnement gamma. Les alarmes gamma sont autorisées.

NOTE L'augmentation du débit d'équivalent de dose ambiant est supérieure au niveau de bruit de fond.

- Répéter l'exposition gamma des étapes a) à d), mais, cette fois, ajouter la source de neutrons ^{252}Cf modérée tant que la source ^{137}Cs est présente.
- Exposer le BRD à une source de neutrons ^{252}Cf présentant un taux d'émission de $20\,000 \text{ s}^{-1}$ ($\pm 20 \%$) (voir 4.10) à une vitesse transitoire de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à une distance de rapprochement maximal de 1 m et à l'angle de référence (0°), et vérifier que l'alarme s'active au maximum au bout de 3 s d'exposition au point de rapprochement maximal du BRD. La réponse est acceptable si l'alarme neutron s'active avant que la source n'atteigne la distance de rapprochement maximal.
- Enregistrer toutes les alarmes affichées par le BRD.
- Retirer les sources de rayonnement gamma et neutronique, attendre que le BRD repasse en fonctionnement normal et répéter l'essai pour un total de 3 séries.
- Le BRD doit émettre une alarme de neutrons en 3 s au maximum et récupérer dans les 3 séries qui suivent. Les alarmes gamma sont autorisées.

6.9 Détection de l'augmentation graduelle des niveaux de rayonnement

6.9.1 Exigences

L'augmentation lente des niveaux de rayonnement qui peut apparaître lorsque le porteur s'approche lentement d'une source de rayonnement ou qu'une source de rayonnement s'approche du porteur ne doit pas influencer sur le seuil d'alarme du BRD. Le BRD doit émettre une alarme ou avertir l'utilisateur du fait que le niveau de rayonnement a changé. L'alerte sur

la variation du niveau de rayonnement doit être visuelle et/ou sonore; elle doit se distinguer des alarmes de surveillance. Le type de l'alarme doit être réglable par l'utilisateur.

6.9.2 Méthode d'essai

- a) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- b) Le point de référence du BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol (comme le centre de la source).
- c) Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- d) Laisser le BRD obtenir un fond.
- e) Quand le BRD est opérationnel, approcher lentement une source de ^{137}Cs à une vitesse de $0,12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à une distance de rapprochement maximal de 1,5 m.
- f) La source ^{137}Cs doit produire un débit d'équivalent de dose ambiant de $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD au point de rapprochement maximal.
- g) La distance de rapprochement maximal de la source au point de référence du BRD peut varier entre 1 m et 3 m à l'angle de référence (0°); la vitesse de $0,12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ doit être ajustée comme décrit en 4.9 si la distance de rapprochement maximal utilisée pour l'essai n'est pas égale à 1,5 m.
- h) La source doit partir d'une position dans laquelle le BRD n'est pas en mesure de détecter sa présence, passer devant ce dernier, puis s'arrêter dans une position dans laquelle il ne détecte non plus sa présence.
- i) Il doit y avoir un délai de 10 s au minimum entre chaque série avec la source positionnée à une distance telle qu'elle n'affecte pas le bruit de fond autour du BRD ou blindée pendant le délai.
- j) Remettre la source dans sa position initiale, attendre que le BRD se stabilise et recommencer l'opération neuf fois, pour un total de 10 séries.
- k) Les performances sont acceptables si l'alarme gamma appropriée est activée en 2 s au maximum une fois que la source atteint le point de rapprochement maximal du BRD ou l'utilisateur est averti du fait que le niveau de rayonnement de bruit de fond a changé. La réponse est également acceptable si l'alarme gamma s'active avant que le champ de $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ne soit atteint. Les performances sont acceptables si le BRD génère des alarmes sur 10 séries sur un total de 10.
- l) Si le BRD prend en charge la détection des neutrons, répéter les étapes a) à e) et h) à k) avec la source de neutrons ^{252}Cf modérés avec un taux d'émission de $20\,000 \text{ s}^{-1}$ ($\pm 20 \%$) (voir 4.10) à une distance de rapprochement maximal de 1 m par rapport au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD. Pour que la réponse soit acceptable, l'alarme neutron appropriée doit s'activer dans les 3 s qui suivent l'obtention de la distance de rapprochement maximal entre le BRD et la source ou l'utilisateur est averti du fait que le niveau de rayonnement de bruit de fond a changé. La réponse est également acceptable si l'alarme neutron s'active avant que la distance de rapprochement maximal ne soit atteinte.

Le cas échéant, répéter les étapes a) à l) pour tous les modes d'exploitation bruit de fond de BRD possibles.

6.10 Moniteurs de terrain en réseau

6.10.1 Exigences

Le BRD peut être conçu pour être capable de déterminer, seul ou associé à d'autres, la position d'une source radioactive, mais aussi de communiquer cette information à un poste de commande central afin de surveiller de vastes zones. Si cette fonction est disponible, le fabricant doit indiquer la distance maximale entre les BRD, ainsi que les niveaux de rayonnement estimés pour l'activation des alarmes avec la distance maximale indiquée par le

fabricant (généralement 6 m), une vitesse transitoire de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et des BRD disposés comme indiqué à la Figure 3.

6.10.2 Méthode d'essai

- a) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- b) Le point de référence des BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol (comme le centre de la source).
- c) Disposer une série de BRD (sans utiliser le fantôme) selon les instructions fournies par le fabricant.
- d) En l'absence d'instruction de la part du fabricant et pour les besoins de l'évaluation, il convient de créer une matrice de 3 BRD disposés en triangle et distants de 6 m.
- e) Diviser la zone surveillée comme indiqué à la Figure 3.
- f) Les essais doivent être réalisés avec du ^{241}Am , du ^{137}Cs et du ^{60}Co produisant chacun un débit de fluence photonique de $4 \text{ photons}\cdot\text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ($\pm 5 \%$, $k = 1$) au point de référence des BRD, en étant placés au centre de la matrice de BRD.
- g) Si le BRD est équipé d'un détecteur de neutrons, l'essai doit être effectué avec la source ^{252}Cf modérée avec un taux d'émission de $20\,000 \text{ s}^{-1}$ ($\pm 20 \%$), comme décrit en 4.10.
- h) Faire passer chaque source par les lignes transversales (lignes 1 à 8) de la Figure 3 à une vitesse transitoire de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Il doit y avoir 1 série par source par ligne.
- i) Vérifier que la matrice de systèmes indique:
 - 1) la présence de la source lorsque celle-ci passe par la zone surveillée,
 - 2) la position relative de la source lorsque celle-ci traverse la matrice.
- j) Si le BRD prend en charge l'identification en temps réel (dynamique) des radionucléides, vérifier que la matrice de systèmes indique les radionucléides identifiés lorsque la source passe par la zone surveillée.
- k) Il convient que l'emplacement et que la présence de la source soient affichés à une station de contrôle. Enregistrer les alarmes, les positions relatives sources par rapport à la matrice et les radionucléides identifiés pour chaque source qui traverse chaque ligne transversale (lignes 1 à 8 de la Figure 3).

6.11 Identification des radionucléides, le cas échéant

6.11.1 Exigences générales

6.11.1.1 Exigences

Si le BRD est conçu pour identifier les radionucléides:

- a) Une indication doit être affichée ou autre (par exemple, "non identifié", "inconnu") si un radionucléide ne peut pas être identifié.
- b) Le BRD doit fournir des lignes directrices à l'utilisateur si sa capacité à identifier les radionucléides est compromise par des taux de comptage trop hauts ("trop élevé") ou trop faibles ("trop bas").
- c) Le fabricant doit indiquer si le BRD peut procéder à l'identification en temps réel (dynamique) des radionucléides lorsque les sources et/ou le BRD se déplacent.
- d) Il convient qu'une indication soit affichée quant à la confiance associée aux radionucléides identifiés.
- e) Si l'indicateur de confiance est affiché, le fabricant doit indiquer la base de la valeur utilisée pour indiquer la confiance associée à l'identification des radionucléides.

6.11.1.2 Méthode d'essai

Les méthodes d'essai associées à chacune des exigences répertoriées ci-dessus sont:

- a) Indication qu'un radionucléide ne peut pas être identifié via 6.11.6.
- b) L'indication que la capacité à identifier les radionucléides est compromise par les taux de comptages bas est vérifiée via les performances en 6.11.7. L'indication que la capacité à identifier les radionucléides est compromise par les taux de comptages élevés est vérifiée via les performances en 6.11.8.
- c) Examiner le manuel pour vérifier et enregistrer les résultats.
- d) Examiner le manuel et/ou afficher le BRD pour vérifier et enregistrer les résultats.
- e) Examiner le manuel pour vérifier et enregistrer les résultats.

6.11.2 Bibliothèque d'identification des radionucléides

6.11.2.1 Exigences

Le fabricant doit indiquer les radionucléides que le BRD peut identifier. La bibliothèque du BRD doit comprendre au minimum HEU, DU, WGPu, ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{241}Am , ^{226}Ra (en équilibre avec leurs descendants), ^{232}Th (en équilibre avec leurs descendants), ^{40}K , ^{67}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I et ^{201}Tl .

NOTE Le Guide de sûreté n° RS-G-1.9 de l'AIEA contient une liste de radionucléides et de catégories.

Pour les besoins de cette norme, la composition isotopique des sources d'HEU, de WGPu et d'UA doit satisfaire aux conditions suivantes:

- l'HEU doit être composé d'au moins 90 % de ^{235}U ,
- l'UA doit contenir au maximum 0,4 % de ^{235}U ,
- le WGPu doit contenir au maximum 6,5 % de ^{240}Pu et au minimum 93 % de ^{239}Pu .

6.11.2.2 Méthode d'essai

Vérifier que l'exigence est satisfaite en examinant les informations fournies par le fabricant.

6.11.3 Identification des radionucléides simples

6.11.3.1 Exigences

Le BRD doit identifier correctement HEU nu, DU, WGPu, ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{241}Am , ^{226}Ra (en équilibre avec leurs descendants) et ^{232}Th (en équilibre avec leurs descendants) en 1 min ou au bout du temps spécifié par le fabricant, selon la valeur la plus faible.

Si le BRD peut procéder à l'identification en temps réel (dynamique) des radionucléides quand les sources et/ou lui-même se déplacent, il doit identifier correctement HEU nu, DU, WGPu, ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{241}Am , ^{226}Ra (en équilibre avec leurs descendants) et ^{232}Th (en équilibre avec leurs descendants) tandis que les sources passent devant lui à une vitesse de $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à une distance de rapprochement maximal de 1,5 m.

6.11.3.2 Méthode d'essai – mode statique

- a) Enregistrer le temps de mesure statique spécifié par le fabricant.
- b) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- c) Le point de référence du BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol (comme le centre de la source).
- d) Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- e) Le débit d'équivalent de dose ambiant produit par chaque dose doit être calculé à l'aide de l'Annexe D.
- f) Chaque essai est effectué avec une source.

- g) Placer le BRD et le fantôme d'essai dans une position où le débit d'équivalent de dose ambiant produit par la source est égal à $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD, puis lancer une mesure d'identification des radionucléides. Le temps d'intégration exigé pour réaliser l'identification doit être égal à celui spécifié par le fabricant ou à 1 min, selon la valeur la plus faible.
- h) La distance entre les sources et le détecteur utilisée pour obtenir le débit d'équivalent de dose ambiant souhaité ne doit pas être inférieure à 1 m ni supérieure à 3 m.
- i) L'essai doit comporter 10 séries consécutives pour chaque source énumérée en 6.11.3.1 (article d'exigence). La source doit être retirée puis replacée au même endroit entre les séries. Il doit y avoir un délai de 10 s au minimum entre chaque série avec la source positionnée à une distance telle qu'elle n'affecte pas le bruit de fond autour du BRD ou blindée pendant le délai.
- j) Les performances sont acceptables si le BRD identifie correctement le radionucléide lors de 10 séries consécutives sur 10, voir Annexe B. Si des matières radioactives naturelles (NORM), telles que le ^{40}K , le ^{226}Ra et/ou le ^{232}Th , sont identifiées pendant un essai contrôlé, il convient de prendre des mesures pour réduire ou éliminer la source de rayonnement avant de poursuivre l'essai. Si cela s'avère impossible, l'identification des NORM est acceptable.

NOTE 1 Le débit d'équivalent de dose ambiant produit par la source est mesuré ou calculé au-dessus du bruit de fond naturel et à l'extérieur de l'enveloppe blindée (par exemple, acier, PMMA) ou de l'encapsulation de la source.

NOTE 2 Chaque essai est effectué avec une source.

6.11.3.3 Méthode d'essai – mode dynamique (si applicable)

- a) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- b) Le point de référence du BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol (comme le centre de la source).
- c) Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- d) Le BRD est soumis à un essai avec chaque source qui traverse le BRD à $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à une distance de rapprochement maximal de 1,5 m.
- e) La distance de rapprochement maximal de la source au point de référence du BRD peut varier entre 1 m et 3 m; la vitesse de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ doit être ajustée comme décrit en 4.9 si la distance de rapprochement maximal utilisée pour l'essai n'est pas égale à 1,5 m.
- f) Le débit d'équivalent de dose ambiant produit par chaque source est égal à $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) (indépendamment du bruit de fond) au point de référence et à l'angle de référence (0°), au point de rapprochement maximal du BRD.
- g) Le débit d'équivalent de dose ambiant produit par chaque dose doit être calculé comme décrit à l'Annexe D.
- h) La source doit lancer son mouvement d'une position dans laquelle le BRD n'est pas en mesure de détecter sa présence, passer devant ce dernier, puis s'arrêter dans une position dans laquelle il ne détecte non plus sa présence.
- i) Il doit y avoir un délai de 10 s au minimum entre chaque série avec la source positionnée à une distance telle qu'elle n'affecte pas le bruit de fond autour du BRD ou blindée pendant le délai.
- j) L'essai doit comporter 10 séries consécutives pour chaque source énumérée en 6.11.3.1 (article d'exigence).
- k) Les performances sont acceptables si le BRD identifie correctement le radionucléide lors de 10 séries consécutives sur 10, voir Annexe B. Si des radionucléides NORM, tels que le ^{40}K , le ^{226}Ra et/ou le ^{232}Th , sont identifiés pendant un essai contrôlé, il convient de prendre des mesures pour réduire ou éliminer la source de rayonnement avant de poursuivre l'essai. Si cela s'avère impossible, l'identification des NORM est acceptable.

Le cas échéant, répéter les étapes a) à k) pour tous les modes d'exploitation bruit de fond de BRD possibles.

NOTE 1 Le débit d'équivalent de dose ambiant produit par la source est mesuré ou calculé au-dessus du bruit de fond naturel et à l'extérieur de l'enveloppe blindée (par exemple, acier, PMMA) ou de l'encapsulation de la source.

NOTE 2 Chaque essai est effectué avec une source.

6.11.4 Identification des radionucléides blindés

6.11.4.1 Exigences concernant le blindage

Le BRD doit identifier correctement le ^{60}Co et le ^{137}Cs en 1 min ou au bout du temps spécifié par le fabricant, selon la valeur la plus faible, lorsque la source est protégée par de l'acier et du PMMA configurés de sorte à former l'équivalent d'un caisson en acier placé derrière un mur en briques. Pour les besoins des essais, on doit placer 1 cm d'acier et 10 cm de PMMA autour des radionucléides.

Si le BRD peut procéder à l'identification en temps réel (dynamique) des radionucléides lorsque les sources et/ou lui-même se déplacent, il doit identifier correctement ces sources blindées tandis qu'elles passent devant lui à une vitesse de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à une distance de rapprochement maximal de 1,5 m.

Le débit d'équivalent de dose ambiant produit par chaque source en dehors du conteneur de blindage est $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD.

6.11.4.2 Méthode d'essai – mode statique

Recommencer l'essai décrit en 6.11.3.2 pour les sources blindées.

6.11.4.3 Méthode d'essai – mode dynamique

Recommencer l'essai décrit en 6.11.3.3 pour les sources blindées.

6.11.4.4 Exigences concernant les radionucléides à usage médical

Le BRD doit identifier correctement le ^{67}Ga , le $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I et le ^{201}Tl en 1 min ou au bout du temps spécifié par le fabricant, selon la valeur la plus faible, lorsque 8 cm de PMMA ou d'une matière plastique analogue sont placés autour de la source pour simuler des mesures in vivo.

Si le BRD peut procéder à l'identification en temps réel des radionucléides lorsque les sources et/ou lui-même se déplacent, il doit identifier correctement ces sources à usage médical tandis qu'elles passent devant lui à une vitesse de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à une distance de rapprochement maximal de 1,5 m.

Le débit d'équivalent de dose ambiant produit par chaque source en dehors du conteneur PMMA est $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD.

6.11.4.5 Méthode d'essai – mode statique

Recommencer l'essai décrit en 6.11.3.2 pour les sources à usage médical.

6.11.4.6 Méthode d'essai – mode dynamique

Recommencer l'essai décrit en 6.11.3.3 pour les sources à usage médical.

6.11.5 Identification des radionucléides multiples et masqués

6.11.5.1 Exigences

Le BRD doit être capable d'identifier correctement plusieurs radionucléides à la fois et être capable d'identifier correctement une source d'intérêt combinée à ("masquée par") d'autres radionucléides, en 1 min ou au bout du temps spécifié par le fabricant, selon la valeur la plus faible. La source d'intérêt doit produire un débit d'équivalent de dose ambiant de $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ au point de référence (0°) du BRD tandis que les sources de masquage doivent produire un débit d'équivalent de dose ambiant de $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ au même point. Les combinaisons de sources utilisées pour l'essai doivent être les suivantes:

$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{HEU}$

$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{WG Pu}$

$^{99\text{m}}\text{Tc} + \text{HEU}$

$^{131}\text{I} + \text{WG Pu}$

Si le BRD peut procéder à l'identification en temps réel (dynamique) des radionucléides lorsque les sources et/ou lui-même se déplacent, il doit identifier correctement ces combinaisons de sources tandis qu'elles passent devant lui à une vitesse de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à une distance de rapprochement maximal de 1,5 m.

6.11.5.2 Méthode d'essai – mode statique

Pour vérifier ces exigences, exposer le BRD aux combinaisons de sources suivantes:

$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{HEU}$

$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{WG Pu}$

$^{99\text{m}}\text{Tc} + \text{HEU}$

$^{131}\text{I} + \text{WG Pu}$

Pour ces combinaisons, les sources d'intérêt sont l'HEU et le WG Pu.

Le débit d'équivalent de dose ambiant produit par les sources de masquage doit être égal à $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$). Le débit d'équivalent de dose ambiant produit par la source d'intérêt doit être égal à $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$). Chaque débit d'équivalent de dose ambiant doit être mesuré au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD. La source d'intérêt ne doit pas être blindée par le matériau de masquage. Le débit d'équivalent de dose ambiant doit être calculé comme décrit à l'Annexe D.

Les sources ^{226}Ra et ^{232}Th (en équilibre avec leurs descendants) doivent être entourées par 9 cm de PMMA pour simuler des matières brutes (chaque source produisant un champ de $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ en dehors du conteneur PMMA). On doit placer 8 cm de PMMA autour des sources de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ et ^{131}I pour simuler des mesures in vivo (produisant un champ de $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ en dehors du conteneur PMMA).

Recommencer l'essai décrit en 6.11.3.2 pour ces combinaisons de sources.

Retirer les sources cibles et répéter les essais pour le matériau de masquage seulement.

NOTE 1 Le ^{232}Th peut être remplacé par du ^{232}U (de plus de 20 ans).

NOTE 2 Des sources ^{226}Ra et ^{232}Th ponctuelles sont utilisées pour cet essai afin d'assurer la reproductibilité du processus d'essai.

6.11.5.3 Méthode d'essai – mode dynamique

Préparer les combinaisons de sources comme décrit en 6.11.5.2. Recommencer l'essai décrit en 6.11.3.3 pour ces combinaisons de sources.

6.11.6 Radionucléides absents de la bibliothèque

6.11.6.1 Exigences

Le BRD doit indiquer "absent de la bibliothèque" ou "inconnu" lorsqu'il est exposé à une source radioactive qui ne produit pas de pic photoélectrique ou à un radionucléide qui ne figure pas dans la bibliothèque.

6.11.6.2 Méthode d'essai

- Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- Le point de référence du BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol (comme le centre de la source).
- Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- Pour vérifier l'exigence pour les sources sans pic photoélectrique, il est recommandé que l'essai soit effectué avec une source de $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dans un ensemble qui produit un rayonnement de freinage.
- Il convient que le débit d'équivalent de dose ambiant au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD soit égal à $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$).
- Le temps d'intégration exigé pour réaliser l'identification doit être égal à 1 min ou à la valeur spécifiée par le fabricant.
- Les performances sont acceptables si le BRD fournit un message du type "absent de la bibliothèque" ou "inconnu" et s'il émet une alarme lors de 10 séries sur 10. L'identification du "rayonnement de freinage" est acceptable.
- Recommencer les étapes a) à g) avec le même débit d'équivalent de dose ambiant avec un radionucléide qui produit des pics photoélectriques mais ne figurant pas dans la bibliothèque. Exposer le BRD à un radionucléide ne figurant pas dans la bibliothèque et vérifier qu'il fournit une indication du type "non identifié" ou "inconnu" (le ^{54}Mn et $^{166\text{m}}\text{Ho}$ sont deux exemples de radionucléides qui peuvent être utilisés pour cet essai). Un radionucléide peut être provisoirement "retiré" de la bibliothèque pour permettre la réalisation de cet essai. Le débit d'équivalent de dose ambiant doit être calculé comme décrit à l'Annexe D.

6.11.7 Identification en présence d'un faible débit d'exposition

6.11.7.1 Exigences

Le BRD ne doit identifier aucun radionucléide absent lorsqu'il est utilisé dans un rayonnement de bruit de fond ambiant stable et faible (les valeurs inférieures ou égales à $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ sont préférentielles mais pas exigées). Une indication doit également être fournie, qui énonce si la capacité du BRD à identifier les radionucléides est compromise par des taux de comptage trop bas ("compter plus longtemps", "se rapprocher", "champ trop faible", histogramme). Dans ce cas, le champ de rayonnement peut être trop faible pour permettre une identification.

6.11.7.2 Méthode d'essai

- Enregistrer un spectre de bruit de fond au lieu d'essai à l'aide d'un détecteur à haute résolution pour vérifier qu'aucune source de rayonnement n'est présente, puis mesurer et enregistrer le débit d'équivalent de dose ambiant associé au bruit de fond.
- Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.

- c) Le point de référence du BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol (comme le centre de la source).
- d) Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- e) Réaliser une identification de radionucléides dans un bruit de fond stable, sans source de rayonnement comme décrit en 4.9. Le temps d'intégration du BRD exigé pour réaliser l'identification doit être égal à 1 min ou à la valeur spécifiée par le fabricant.
- f) Le BRD ne doit pas identifier les radionucléides non prévus. Vérifier en outre que le BRD indique que le taux de comptage est trop faible pour effectuer l'identification. Cette indication peut être constituée d'un énoncé du type "champ trop faible", "compter plus longtemps" ou "se rapprocher".
- g) L'essai doit comprendre 10 séries.
- h) Les performances sont acceptables si le BRD n'identifie pas un radionucléide lors de 10 séries consécutives sur 10.
- i) Si des radionucléides NORM tels que le ^{40}K , le ^{226}Ra ou le ^{232}Th sont identifiés, il convient de prendre des mesures pour réduire ou éliminer la source avant de réaliser l'essai. Si le radionucléide est prévu et s'il ne peut pas être supprimé, le résultat de l'essai doit être acceptable lorsque le radionucléide naturel prévu est identifié.

6.11.8 Caractéristiques de dépassement de l'étendue de mesure pour l'identification

6.11.8.1 Exigences

Le fabricant doit indiquer le débit d'équivalent de dose ambiant gamma maximal ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) associé au ^{137}Cs pour lequel le BRD peut procéder à l'identification des radionucléides. Une indication doit également être fournie, qui énonce si la capacité du BRD à identifier les radionucléides est compromise par des taux de comptage trop haut ("s'éloigner", "champ trop haut", histogramme). Dans ce cas, le champ de rayonnement peut être trop élevé pour permettre une identification.

6.11.8.2 Méthode d'essai

- a) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- b) Il n'est pas nécessaire que le point de référence du BRD se trouve à 1,5 m du plancher ou du sol; la hauteur entre le point de référence du BRD et le plancher ou le sol utilisée pour l'essai doit être enregistrée.
- c) Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- d) Augmenter le débit d'équivalent de dose ambiant avec ^{137}Cs au taux d'exposition maximal pour l'identification des radionucléides comme indiqué par le fabricant au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD.
- e) Positionner une source ^{133}Ba pour produire un débit d'équivalent de dose ambiant de $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\pm 20 \%$, $k = 1$) au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD au point de rapprochement maximal. Le débit d'équivalent de dose ambiant doit être calculé comme décrit à l'Annexe D.
- f) Effectuer une identification de radionucléide statique comme décrit en 4.9. Le temps d'intégration du BRD exigé pour réaliser l'identification doit être égal à 1 min ou à la valeur spécifiée par le fabricant.
- g) L'essai doit comprendre 10 séries.
- h) Cet essai est acceptable si le BRD identifie correctement le ^{133}Ba lors de 10 séries consécutives sur 10; l'identification du ^{137}Cs est autorisée, mais pas exigée dans le cadre de l'identification correcte.
- i) Vérifier en outre que le BRD indique que le taux de comptage est trop élevé pour effectuer l'identification. Cette indication peut être constituée d'un énoncé du type "champ trop élevé", ou "s'éloigner".

- j) Si des radionucléides NORM tels que le ^{40}K , le ^{226}Ra ou le ^{232}Th sont identifiés, il convient de prendre des mesures pour réduire ou éliminer la source avant de réaliser l'essai. Si le radionucléide est prévu et s'il ne peut pas être supprimé, le résultat de l'essai doit être acceptable lorsque le radionucléide naturel prévu est identifié.

6.11.9 Elimination des variations du bruit de fond naturel

6.11.9.1 Exigences

Cette fonction a pour objet de réduire le nombre d'alarmes déclenchées par les variations soudaines du niveau de bruit de fond naturel qui peuvent apparaître lorsque l'on entre dans un bâtiment, que l'on marche sur un trottoir en granit ou que l'on passe près d'un mur recouvert de carreaux en céramique.

Cette fonction ne doit pas réduire la capacité de détection du BRD. L'utilisateur doit avoir la possibilité de la désactiver.

6.11.9.2 Méthode d'essai

- a) Vérifier que la fonction de capacité de détection de bruit de fond peut être désactivée par l'utilisateur. Enregistrer le résultat de la vérification.
- b) Le BRD doit être préparé comme décrit en 4.8.
- c) Le point de référence du BRD doit se trouver à 1,5 m du plancher ou du sol.
- d) Le BRD doit être installé sur le fantôme.
- e) Le débit d'équivalent de dose ambiant doit être mesuré au point de référence et à l'angle de référence (0°) du BRD.
- f) Exposer le BRD à la condition de bruit de fond "faible" (demande bruit de fond à l'emplacement de l'essai, de préférence inférieure ou égale à $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \pm 50\%$ ($k = 1$)) pendant le temps de chauffage (et/ou de démarrage) indiqué par le fabricant, sans source radioactive.
- g) En moins de 2 s, amener le bruit de fond ambiant à la condition de bruit de fond "élevé" ($0,3 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \pm 30\%$ ($k = 1$)) au point de référence du BRD).
- h) Aucune alarme ne doit se produire et aucun radionucléide ne doit être identifié, en dehors des indications de NORM associées au fond, sur 10 de 10 séries.
- i) La condition de bruit de fond "élevé" doit être obtenue au moyen d'une combinaison de sources composée de ^{226}Ra et de ^{232}Th (en équilibre avec leurs descendants) entourés de 9 cm de PMMA, ou au moyen de dalles de granit ou d'autres matières brutes analogues.
- j) Une fois la condition de bruit de fond "élevé" établie, vérifier que la capacité de réponse du BRD ne subit aucune modification en reprenant 6.2 avec ^{241}Am et ^{137}Cs (séparément) à l'angle de référence (0°) en position verticale (essai à un seul angle).

Le cas échéant, répéter les étapes b) à j) pour tous les modes d'exploitation bruit de fond de BRD possibles.

7 Exigences environnementales

Le BRD doit satisfaire aux exigences applicables de l'IEC 62706 concernant les appareils "portés sur le corps" ou "portables", pour ce qui est des éléments suivants:

- **Température ambiante:** de -20°C à 50°C (portable).
- **Choc de température:** de -20°C à 50°C (portable). Le fabricant doit fournir le temps de récupération. Pendant le temps de récupération, l'instrument doit indiquer qu'il n'est pas opérationnel. Si le fabricant ne fournit pas de temps de récupération, le BRD doit être soumis à l'essai au bout de 15 min.

- **Humidité relative:** jusqu'à 93 % à 40 °C.
- **Démarrage à basse/haute température:** –20 °C et 50 °C (portable).
- **Résistance à la poussière et à la pénétration de l'eau:** IP54 (instruments portés sur le corps) (IEC 60529).

Le fonctionnement de l'instrument est vérifié comme décrit en 4.11. Le BRD est préparé comme décrit en 4.8. Les essais doivent être effectués selon les méthodes d'essai données dans l'IEC 62706; les essais de fonctionnement sont effectués comme énuméré dans le Tableau 2.

Le BRD ne doit pas être installé sur un fantôme.

8 Exigences mécaniques

Le BRD doit satisfaire aux exigences applicables de l'IEC 62706 concernant les appareils "portés sur le corps", pour ce qui est des éléments suivants:

- **Vibration:** vibration aléatoire à $0,01 \text{ g}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ (densité spectrale d'accélération) avec des points d'extrémité de fréquence à 5 Hz et 500 Hz pendant une durée de 1 h dans chacune des trois orientations orthogonales (IEC 60068-2-64 Catégorie de transport 1b).
- **Effets microphoniques/impact:** contacts pointus de faible intensité avec des énergies de 0,2 J (IEC 60068-2-75).
- **Choc mécanique:** 10 impulsions de choc d'une accélération de 50 g crête, appliquées chacune pendant une durée nominale de 11 ms dans chacune des trois orientations mutuellement orthogonales (IEC 60068-2-27).
- **Chute:** le BRD et l'appareil de contrôle (si connectés) doivent continuer à fonctionner correctement après avoir fait une chute d'une hauteur de 100 cm sur une surface en béton, sur chacune de leurs six faces. Si l'appareil de contrôle BRD est déconnecté du BRD, l'appareil de contrôle doit aussi continuer à fonctionner correctement après avoir fait une chute d'une hauteur de 100 cm sur une surface en béton, sur chacune de ses six faces. Il convient que la méthode d'essai fasse l'objet d'un accord entre le fabricant et le laboratoire d'essai.

Le fonctionnement de l'instrument est vérifié comme décrit en 4.11. Le BRD est préparé comme décrit en 4.8. Les essais doivent être effectués selon les méthodes d'essai données dans l'IEC 62706; les essais de fonctionnement sont effectués comme énuméré au Tableau 3.

Lors de l'exécution de ces essais, le BRD ne doit pas être installé sur un fantôme.

9 Exigences électromagnétiques

Le BRD doit satisfaire aux exigences applicables de l'IEC 62706 concernant les appareils "portés sur le corps", pour ce qui est des éléments suivants:

- **Décharge électrostatique:** Niveau 3 dans l'IEC 61000-4-2.
- **Radiofréquence:** Niveau X (avec $X = 50$) de 80 MHz à 1 000 MHz et Niveau 3 de 1,4 à 6 GHz dans l'IEC 61000-4-3.
- **Emissions rayonnées:** voir Tableau 4.
- **Champ magnétique:** Niveau 5 dans l'IEC 61000-4-8.
- **Immunité aux rayonnements conduits:** Niveau 3 dans l'IEC 61000-4-6; applicable uniquement si le BRD est équipé de câbles de plus de 1 m.

Le fonctionnement de l'instrument est vérifié comme décrit en 4.11. Le BRD est préparé comme décrit en 4.8. Les essais doivent être effectués selon les méthodes d'essai données

dans l'IEC 62706; les essais de fonctionnement sont effectués comme énuméré dans le Tableau 5.

Lors de l'exécution de ces essais, le BRD ne doit pas être installé sur un fantôme.

10 Documentation

10.1 Généralités

Pour vérifier les exigences énumérées ci-dessous, consulter la documentation fournie par le fabricant.

10.2 Rapport sur l'essai de type

Le constructeur doit tenir à la disposition de l'utilisateur (si demandé) le rapport des essais de type réalisés conformément aux exigences de cette norme.

10.3 Certificat

Le fabricant doit fournir un rapport d'essai avec au minimum les informations suivantes:

- a) Si le BRD affiche un débit équivalent de dose ambiant, fournir les mesures d'étalonnage du débit équivalent de dose ambiant pour ^{241}Am , ^{137}Cs et ^{60}Co .
- b) Si le BRD dispose de fonctionnalités d'identification des radionucléides, fournir la résolution d'énergie et l'étalonnage d'énergie pour ^{137}Cs .
- c) L'efficacité photonique (comptes par seconde (cps) par μSv par heure) en fonction de l'énergie des photons pour le ^{241}Am , le ^{137}Cs et le ^{60}Co au minimum.
- d) Si l'instrument prend en charge la détection des neutrons, l'efficacité neutronique (cps par neutron par seconde par cm^2) pour le ^{252}Cf non modéré et le ^{252}Cf modéré (spécifié par le modérateur).

Les conditions de l'essai environnemental de ces paramètres doivent être indiquées dans le certificat.

10.4 Manuel d'utilisation et de maintenance

Le fabricant doit fournir à l'utilisateur un manuel d'utilisation et de maintenance contenant les informations suivantes:

- a) Les coordonnées du fabricant, y compris son nom, son adresse, son numéro de téléphone, son numéro de fax et son adresse e-mail
- b) Le type de l'instrument et du détecteur, ainsi que les types de rayonnement mesurés par l'instrument
- c) Les exigences en matière d'alimentation
- d) La durée de vie de la batterie
- e) Les paramètres de fonctionnement recommandés doivent comprendre au minimum:
 - a) Les modes de mise à jour du bruit de fond
 - b) Si l'instrument prend en charge l'identification des radionucléides, la bibliothèque de radionucléides
 - c) Si l'instrument prend en charge l'identification des radionucléides, le temps d'intégration associé à l'identification des radionucléides
 - d) Les seuils d'alarme par défaut, pour les photons et les neutrons le cas échéant
- f) L'étendue de la réponse énergétique du détecteur

- g) Les plages de débit d'équivalent de dose ambiant de photons associées à la mesure et à la protection, et les valeurs maximales de dépassement de l'étendue de mesure
- h) Si l'instrument prend en charge la détection des neutrons, l'étendue du taux de comptage de neutrons
- i) Si l'instrument prend en charge l'identification des radionucléides, les plages de débit d'équivalent de dose ambiant de photons et les valeurs maximales de dépassement de l'étendue de mesure pour l'identification
- j) Si le BRD prend en charge l'identification en temps réel, le temps d'intégration et le mode (par exemple, temps d'intégration roulant)
- k) Le temps de déclenchement de l'alarme
- l) L'efficacité photonique (cps par μSv par heure) en fonction de l'énergie des photons pour le ^{241}Am , le ^{137}Cs et le ^{60}Co au minimum
- m) Si l'instrument prend en charge la détection des neutrons, l'efficacité neutronique (cps par neutron par seconde par cm^2) pour le ^{252}Cf non modéré et le ^{252}Cf modéré (spécifié par le modérateur)
- n) La probabilité de fausse alarme
- o) Une description complète du BRD, y compris les dimensions, le poids, la position des détecteurs, les points de référence
- p) Si l'instrument prend en charge l'identification des radionucléides, le fabricant doit expliquer la signification de l'indication de confiance
- q) Si l'appareil peut transmettre des informations à un appareil externe, le fabricant doit fournir une description et un protocole concernant les moyens de communication utilisés pour la transmission et la réception des données
- r) Les exigences de stabilisation et d'étalonnage de l'énergie
- s) La plage opérationnelle des conditions environnementales énumérées à l'Article 7.
- t) La plage opérationnelle pour les essais électromagnétiques énumérés à l'Article 9.
- u) La plage opérationnelle pour les essais mécaniques énumérés à l'Article 8.
- v) Les instructions d'exploitation et restrictions pour les opérateurs et les utilisateurs
- w) Les instructions de maintenance
- x) La liste des pièces détachées
- y) Le guide de dépannage

Tableau 1 – Conditions normales d'essai

Grandeur d'influence	Conditions normales d'essai
Temps de stabilisation	≤ 15 min
Température ambiante	15 °C à 25 °C
Humidité relative	50 % à 75 %
Pression atmosphérique	86 kPa à 106,6 kPa (à 0 °C)
Bruit de fond gamma	$\leq 0,2 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$
Bruit de fond neutron	≤ 300 neutrons par seconde par mètre carré
Champ électromagnétique d'origine externe	Conditions naturelles contrôlées
Induction magnétique d'origine externe	Conditions naturelles contrôlées
Rayonnement photonique de référence*	^{241}Am , ^{137}Cs et ^{60}Co
Rayonnement neutronique de référence*	^{252}Cf non modéré et modéré
* Voir 4.10 pour plus de détails.	

Tableau 2 – Place des essais de fonctionnement dans les essais d'environnement

Essais d'environnement	Exécution de l'essai de fonctionnement
Température ambiante	Avec source: - avant l'essai de température ambiante - au début de chaque échelon de température (augmentation et diminution) - pendant les 15 dernières minutes de chaque échelon de température (augmentation et diminution) - au début, au milieu et à la fin du temps d'équilibre (ou de mise en température) à la température minimale - au début, au milieu et à la fin du temps d'équilibre (ou de mise en température) à la température maximale Vérifier que les indications d'affichage de base énumérées en 5.14.2 sont lisibles aux températures minimale et maximale. Sans source: - pendant l'essai
Choc de température	Avec source: - avant l'essai de choc de température - au terme du temps de stabilisation indiqué par le fabricant si le fabricant n'indique pas de temps de stabilisation, réaliser les mesures 15 min après l'exposition à la température extrême
Humidité relative	Avec source: - avant l'essai d'humidité relative 8 h après l'exposition à une forte humidité 16 h après l'exposition Sans source: - pendant l'essai
Démarrage à basse/haute température	Avec source: - avant l'essai de démarrage à température haute/basse - au terme du temps de chauffage (basse température) - au terme du temps de chauffage (haute température)
Résistance à la poussière et à la pénétration de l'eau – Classification IP	Avec source: - avant l'essai de poussière et de pénétration de l'eau - pendant l'exposition - après l'essai de poussière et de pénétration de l'eau Sans source: - pendant l'essai

Tableau 3 – Place des essais de fonctionnement dans les essais mécaniques

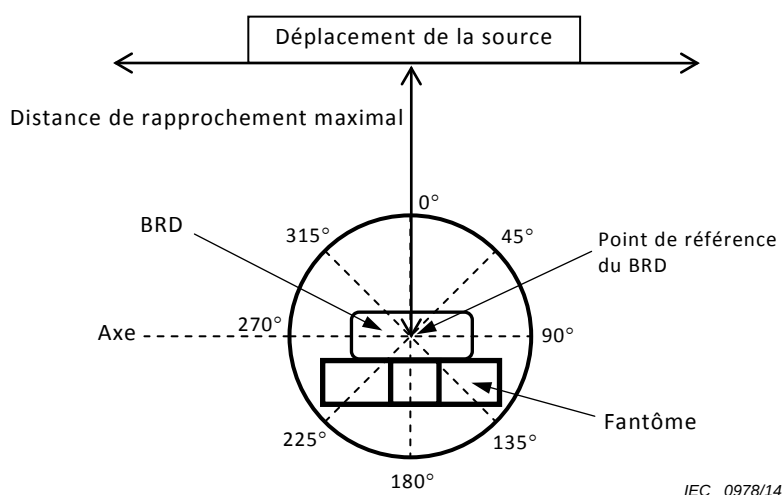
Essais mécaniques	Exécution des essais de fonctionnement
Essai de vibration	Avec source: - avant l'essai de vibration - pendant l'exposition - après l'essai de vibration Sans source: - pendant l'essai
Effets microphoniques/impact	Avec source: - avant l'essai microphoniques/impact - pendant l'exposition - après l'essai microphoniques/impact Sans source: - pendant l'essai
Choc mécanique	Avec source: - avant l'essai de choc I - pendant l'exposition - après l'essai de choc Sans source: - pendant l'essai
Chute	Avec source: - avant l'essai de chute - après l'essai de chute (après six chutes)

Tableau 4 – Gamme de fréquences d'émission

Fréquence d'émission MHz	Intensité du champ μV/m
30 à 88	100
88 à 216	150
216 à 960	200
>960	500

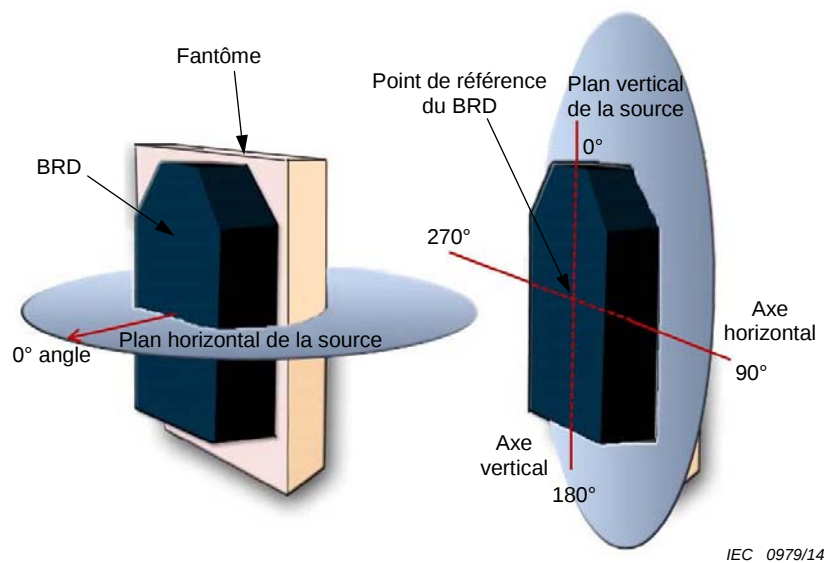
**Tableau 5 – Place des essais de fonctionnement
dans les essais électromagnétiques**

Essais électromagnétiques	Exécution des essais de fonctionnement
Décharge électrostatique	Avec source: - avant l'essai de décharge - pendant l'exposition - après l'essai de décharge Sans source: - pendant la décharge
Radiofréquence	Avec source: - avant l'essai de radiofréquences - pendant l'exposition - après l'essai de radiofréquences Sans source: - pendant le balayage (en continu)
Rayonnements RF émis	Non applicable, enregistrer les émissions provenant de l'instrument
Champs magnétiques	Avec source: - avant l'essai de champ magnétique - pendant l'exposition - après l'essai de champ magnétique Sans source: - pendant l'exposition
Immunité aux rayonnements conduits	Avec source: - avant l'essai d'immunité aux rayonnements conduits - pendant l'exposition - après l'essai d'immunité aux rayonnements conduits Sans source: - pendant le balayage (en continu)



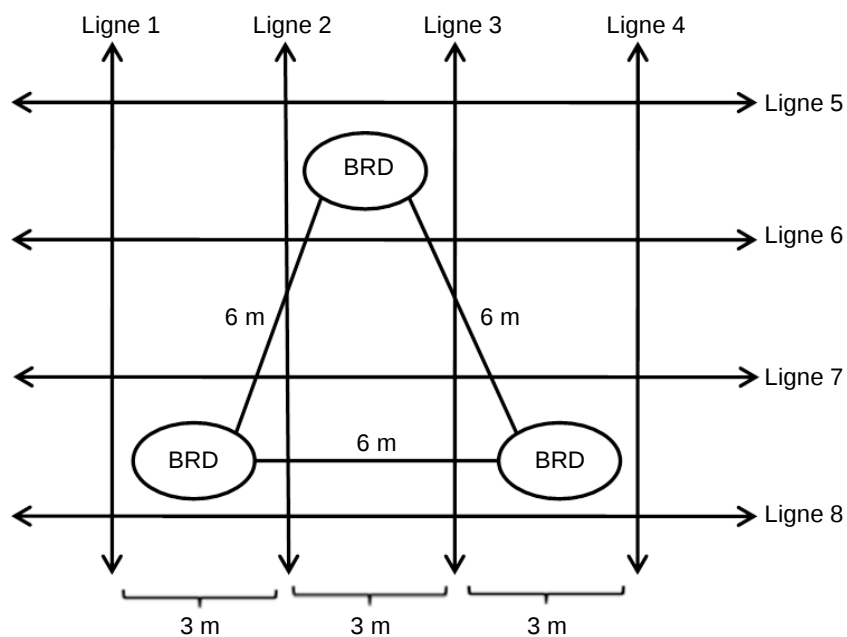
NOTE Le mouvement source affiché représente la configuration d'essai à un angle de 0°.

**Figure 1 – Diagramme des angles d'essai lorsque la source passe
à un angle de 0° dans le plan horizontal (vue du haut)**



IEC 0979/14

Figure 2 – Représentation schématique des deux plans orthogonaux (plans horizontal et vertical), du point de référence du BRD et des angles d'essai



IEC 0980/14

Figure 3 – Préparation du BRD et positions de la source d'essai pour la surveillance de zone en réseau

Annexe A (informative)

Considérations statistiques

A.1 Distribution de Poisson

Une variable aléatoire utilisée pour décrire un nombre d'occurrences de phénomènes donnés pendant une durée déterminée ou dans une région déterminée de l'espace peut souvent être modélisée par la distribution de Poisson. Des exemples incluent le nombre de particules radioactives heurtant une cible donnée pendant une durée déterminée et le nombre d'impacts de bombe présents dans une zone définie.

La distribution de Poisson est donnée par la formule suivante (Casella et Berger, 2002):

$$P(x|\lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots ; 0 \leq \lambda \quad (\text{A.1})$$

Le paramètre positif unique λ correspond au nombre d'occurrences attendues par unité de temps, qui est parfois appelé fréquence moyenne. En plus d'être la valeur attendue de la distribution de Poisson, λ est aussi la variance de cette distribution. On peut estimer la fréquence grâce à la formule suivante

$$\hat{\lambda} = \frac{x}{n} \quad (\text{A.2})$$

Où x est le nombre d'occurrences observées et n le nombre d'unités de temps qu'a duré l'observation.

A.2 Intervalles de confiance de la distribution de Poisson

On peut trouver un intervalle bilatéral de confiance à $100(1-\alpha)\%$ pour λ , si l'on considère x occurrences en n unités de temps, grâce à la formule suivante (Hahn et Meeker, 1991):

$$[\lambda, \hat{\lambda}] = \left[\frac{0,5 \chi^2(\frac{\alpha}{2}; 2x)}{n}, \frac{0,5 \chi^2(1-\frac{\alpha}{2}; 2x+2)}{n} \right] \quad (\text{A.3})$$

Où $\chi^2_{(\gamma; r)}$ est le centile d'ordre 100γ d'une distribution du khi carré avec r degrés de liberté.

Pour obtenir les limites unilatérales inférieure et supérieure de confiance $100(1-\alpha)\%$ à λ , remplacer $\alpha/2$ par α dans la première et la deuxième partie de la formule (A.3). On détermine alors la limite unilatérale supérieure de confiance $100(1-\alpha)\%$ à λ :

$$\hat{\lambda} = \frac{0,5 \chi^2(1-\alpha; 2x+2)}{n} \quad (\text{A.4})$$

A.3 Essais de fausse alarme

Le nombre de fausses alarmes produites par un système de détection de rayonnement pendant une durée déterminée au cours de laquelle le taux de fausse alarme n'est pas censé varier (par exemple, bruit de fond stable) peut être convenablement modélisé par une

distribution de Poisson. On peut estimer le taux de fausse alarme, donné par la formule (A.2), en divisant le nombre d'occurrences observées pendant une durée déterminée par le nombre d'unités de temps qu'a duré l'observation.

En cas de présentation d'estimations découlant d'observations d'essai limitées, il convient de fournir des mesures de la variabilité de l'échantillonnage et donc de l'incertitude des estimations. Un moyen de délivrer ces informations est de donner un intervalle ou une limite de confiance. Comme on souhaite que le taux de fausse alarme soit le plus bas possible, il est judicieux d'indiquer une limite unilatérale supérieure de confiance, car cette mesure fournit des informations sur la grandeur que peut réellement avoir le véritable taux de fausse alarme. Par exemple, si l'on a observé 0 fausse alarme pendant une période d'essai de 3 h, on estimera que le taux de fausse alarme est $\hat{\lambda} = 0$ par heure avec une limite supérieure de confiance de 95 % à $\hat{\lambda} = 1$ par heure. On pourra ainsi déclarer avec un niveau de confiance de 95 % que le taux de fausse alarme du système de détection de rayonnement ne dépasse pas 1 alarme par heure.

Lorsqu'on élabore un essai de fausse alarme, on doit considérer la précision et la force souhaitées pour l'énoncé de fausse alarme, ainsi que l'incertitude des estimations. Dans notre exemple, le fait de déclarer qu'un taux de fausse alarme ne dépasse pas 1 alarme par heure peut avoir peu d'utilité; toutefois, étant donné la durée limitée de l'essai, on ne peut pas formuler d'énoncé plus fort. Si l'on souhaite déclarer que le taux de fausse alarme ne dépassera pas 1 alarme par quart de 8 h. ($\hat{\lambda} = 0,125$), un essai de fausse alarme de 24 heures doit être réalisé avec 0 occurrence observée. Le Tableau A.1 présente les limites unilatérales supérieures de confiance à 95 % associées au taux horaire de fausse alarme pour des durées d'essai comprises entre 1 h et 40 h, ainsi que des nombres d'occurrences de fausses alarmes observées compris entre 0 et 10.

Tableau A.1 – Limites unilatérales supérieures de confiance à 95 % associées au taux de fausse alarme pour un nombre donné de fausses alarmes observées pendant une durée donnée

Limite unilatérale supérieure de confiance à 95 % associée au taux de fausse alarme (horaire)											
Durée d'essai	Nombre de fausses alarmes observées										
heures	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3,00	4,74	6,30	7,75	9,15	10,51	11,84	13,15	14,43	15,71	16,96
2	1,50	2,37	3,15	3,88	4,58	5,26	5,92	6,57	7,22	7,85	8,48
3	1,00	1,58	2,10	2,58	3,05	3,50	3,95	4,38	4,81	5,24	5,65
4	0,75	1,19	1,57	1,94	2,29	2,63	2,96	3,29	3,61	3,93	4,24
5	0,60	0,95	1,26	1,55	1,83	2,10	2,37	2,63	2,89	3,14	3,39
6	0,50	0,79	1,05	1,29	1,53	1,75	1,97	2,19	2,41	2,62	2,83
7	0,43	0,68	0,90	1,11	1,31	1,50	1,69	1,88	2,06	2,24	2,42
8	0,37	0,59	0,79	0,97	1,14	1,31	1,48	1,64	1,80	1,96	2,12
9	0,33	0,53	0,70	0,86	1,02	1,17	1,32	1,46	1,60	1,75	1,88
10	0,30	0,47	0,63	0,78	0,92	1,05	1,18	1,31	1,44	1,57	1,70
11	0,27	0,43	0,57	0,70	0,83	0,96	1,08	1,20	1,31	1,43	1,54
12	0,25	0,40	0,52	0,65	0,76	0,88	0,99	1,10	1,20	1,31	1,41
13	0,23	0,36	0,48	0,60	0,70	0,81	0,91	1,01	1,11	1,21	1,30
14	0,21	0,34	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,94	1,03	1,12	1,21
15	0,20	0,32	0,42	0,52	0,61	0,70	0,79	0,88	0,96	1,05	1,13
16	0,19	0,30	0,39	0,48	0,57	0,66	0,74	0,82	0,90	0,98	1,06
17	0,18	0,28	0,37	0,46	0,54	0,62	0,70	0,77	0,85	0,92	1,00
18	0,17	0,26	0,35	0,43	0,51	0,58	0,66	0,73	0,80	0,87	0,94
19	0,16	0,25	0,33	0,41	0,48	0,55	0,62	0,69	0,76	0,83	0,89
20	0,15	0,24	0,31	0,39	0,46	0,53	0,59	0,66	0,72	0,79	0,85

A.4 Loi binomiale

Lorsqu'un observable n'est décrit que par deux résultats possibles (par exemple, alarme/absence d'alarme), le nombre d'occurrences est modélisé par la loi binomiale.

Supposons que l'observable X est associé à la distribution $Bin(n, p)$. Pour un niveau de confiance à $(1-\alpha)$ % donné, on sait (voir Bickel et Doksum) que la limite inférieure de confiance à $(1-\alpha)$ %, $\underline{p} = \underline{p}(X, n, \alpha)$, associée à la probabilité binomiale p , se présente sous la forme

$$\underline{p} = \max\{p : \text{binocdf}(X-1, n, p) \geq 1-\alpha\}.$$

Où,

$$\text{binocdf}(x, n, p) = \sum_{k=0}^x \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k},$$

est utilisé comme fonction pour la loi binomiale cumulée. Le but est de déterminer, pour le X donné, la plage de valeurs n telle que, pour le α prescrit, on obtienne $\underline{p} \geq p_0$. Cette plage est formée de l'ensemble des entiers positifs suffisamment grands.

Notez que $\text{binocdf}(n-1, n, p) = 1 - p^n$, de sorte que lorsque $X = n$ (c'est-à-dire qu'aucun échec ne se produit en n séries), on peut trouver la plus petite taille d'échantillon n à partir de la formule suivante,

$$n = \frac{\log \alpha}{\log p_0}.$$

On a dressé le Tableau A.2 suivant, qui répertorie les valeurs n les plus générales, avec la fonction $\text{binocdf}(x, n, p)$ pour différents α et différentes valeurs de la probabilité de succès garantie à $(1 - \alpha) \%$, p_0 , c'est-à-dire les valeurs prescrites ou garanties de $\underline{p}$.

Tableau A.2 – Tailles d'échantillon nécessaires (n) pour différents niveaux (p_o) et nombre d'échecs (k)

k	α=0,05						α=0,1						α=0,15						α=0,2				α=0,3			
	p _o						p _o						p _o						p _o				p _o			
	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80		0,99	0,98	0,95	0,90	0,80		0,99	0,98	0,95	0,90	0,80		0,99	0,95	0,90	0,80	0,99	0,95	0,90	0,80
0	298	148	58	28	13		229	113	44	22	10		189	94	37	18	9		160	31	15	7	119	23	11	5
1	473	235	58	44	22		388	193	76	37	18		336	167	66	29	10		299	59	29	14	243	48	24	11
2	627	313	93	61	29		531	265	105	52	25		471	235	93	33	16		427	84	42	20	361	71	35	17
3	773	385	124	75	36		666	332	132	65	32		600	299	119	46	22		550	109	54	26	475	94	47	23
4	913	465	153	89	43		797	398	158	78	38		725	362	144	59	29		671	133	66	32	588	117	58	28
5	1049	523	180	102	50		925	462	183	91	44		848	423	168	71	35		789	157	78	38	700	139	69	34
6	1180	594	207	115	56		1051	524	208	103	50		968	483	192	83	41		906	180	89	44	810	161	80	39
7	1319	658	234	128	63		1175	586	233	115	56		1088	543	216	95	47		1022	203	101	49	920	183	91	45
8	1440	720	260	141	69		1297	647	257	127	62		1206	602	239	107	52		1136	225	112	55	1028	205	102	50
9	1573	785	285	154	75		1418	708	281	140	68		1573	660	263	119	64		1250	249	123	61	1134	227	113	56

Annexe B (informative)

Liste des descendants et des impuretés prévus

Un BRD doit identifier complètement et correctement les radionucléides d'intérêt. Cette classification, fidèle aux exigences de l'AIEA, peut être résumée comme suit:

a) Complet et Correct (C&C)

- Source "X" identifiée comme "X"
- Sources "X+Y" identifiées comme "X+Y"

Exemples:

- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{235}\text{U}$
- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{40}\text{K}$
- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{40}\text{K} + ^{232}\text{Th}$
- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{40}\text{K} + ^{232}\text{Th} + ^{226}\text{Ra}$
- $^{235}\text{U} + ^{67}\text{Ga} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{67}\text{Ga} + ^{40}\text{K} + ^{232}\text{Th} + ^{226}\text{Ra}$

Complet et Correct peut également inclure les descendants et les impuretés des radionucléides d'intérêt. Les radionucléides naturels peuvent être affichés, car ils font partie du bruit de fond même lorsqu'ils ne font pas partie de la source soumise à l'essai. Le Tableau B.1 fournit une liste de descendants et d'impuretés prévues.

b) Incomplet

- Source "X+Y" identifiée comme "X" ou "Y"

Exemples:

- $^{235}\text{U} + ^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{226}\text{Ra}$

c) Incorrect

- Source "X" identifiée comme "X + Y"

Exemples:

- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{237}\text{Np}$
- $^{67}\text{Ga} \rightarrow ^{235}\text{U} + ^{67}\text{Ga}$

d) Incomplet et Incorrect (I&I)

- Source "A" identifiée comme "C"
- Source "A+B" identifiée comme "C+D"

Exemples:

- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{67}\text{Ga}$
- $^{235}\text{U} + ^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc} + ^{133}\text{Ba}$

La liste des impuretés et des descendants prévus est donnée ci-dessous. Si un radionucléide n'y figure pas, cela signifie qu'aucun descendant n'est prévu pour lui. Par conséquent, le radionucléide exigé est celui qui est présent.

NOTE Certains systèmes ne font pas de distinction entre l'enrichissement du plutonium et l'enrichissement de l'uranium; dans ces cas, les différentes sources sont identifiées avec le même nom de radionucléide ou de source.

Tableau B.1 – Liste des descendants et des impuretés prévus

Source	Radionucléides exigés	Impuretés ou descendants prévus
^{201}Tl	^{201}Tl	^{202}Tl
UA	^{238}U	^{235}U , ^{226}Ra
RGPu	^{239}Pu	^{242}Pu , ^{241}Pu , ^{240}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{237}U , ^{242}Pa , ^{233}U , neutron, ^{252}Cf , ^{249}Cf , RGPu, Plutonium
WGPu	^{239}Pu	^{242}Pu , ^{241}Pu , ^{240}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{237}U , ^{242}Pa , ^{233}U , neutron, ^{252}Cf , ^{249}Cf , WGPu, Plutonium
HEU	^{235}U	^{238}U , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, HEU, Uranium
$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{WGPu}$	^{239}Pu	^{242}Pu , ^{241}Pu , ^{240}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{237}U , ^{242}Pa , ^{233}U , neutron, ^{252}Cf , ^{249}Cf , ^{228}Th , ^{232}U , ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{232}Th , ^{226}Ra , WGPu, Plutonium
$(^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}) + \text{HEU}$	^{235}U	^{238}U , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{228}Th , ^{232}U , ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{232}Th , ^{226}Ra , HEU, Uranium
$^{131}\text{I} + \text{WGPu}$	$^{239}\text{Pu} + ^{131}\text{I}$	^{242}Pu , ^{241}Pu , ^{240}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{237}U , ^{242}Pa , ^{233}U , neutron, ^{252}Cf , ^{249}Cf , WGPu, Plutonium
$^{99\text{m}}\text{Tc} + \text{HEU}$	$^{235}\text{U} + ^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{238}U , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{99}Mo , HEU, Uranium
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{99}Mo
^{232}Th	^{232}Th	^{228}Th , ^{232}U
^{226}Ra	^{226}Ra	^{214}Bi , ^{214}Pb

Annexe C (informative)

Récapitulatif des calculs de débit de fluence

Le rayonnement émis par un générateur de rayons X ou une source radioactive est constitué d'un faisceau de photons présentant généralement différentes énergies. Si l'on considère que ce faisceau est monoénergétique, une manière de le décrire serait de spécifier le nombre de photons, dN , qui traverseraient une zone, da , perpendiculaire au faisceau. Le rapport entre ces deux valeurs permettrait d'obtenir ce que la Commission internationale des unités et des mesures de radiation (ICRU) a appelé fluence ou fluence photonique, représenté par la lettre grecque phi majuscule Φ .

$$\Phi = \frac{dN}{da} \quad (\text{C.1})$$

Le débit de fluence, qui est le nombre de photons qui traversent l'unité de surface par unité de temps, est représenté par la lettre grecque minuscule phi, ϕ ; donc:

$$\phi = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dN}{da dt} \quad (\text{C.2})$$

Lorsque l'émission de la source est isotrope et que l'on intègre la formule (C.2), on peut exprimer le débit de fluence de la source au niveau d'un rayon r comme suit:

$$\phi = \frac{R}{4\pi r^2} \quad (\text{C.3})$$

Où R est le nombre de photons par seconde émis par la source (taux d'émission).

On peut exprimer R en fonction de l'activité de la source, A (exprimée en Becquerels), comme suit:

$$R = A \times p(E) \quad (\text{C.4})$$

Où $p(E)$ est la probabilité d'émettre un rayon gamma avec l'énergie E . On peut alors exprimer le débit de fluence comme suit:

$$\phi = \frac{A \times p(E)}{4\pi r^2} \quad (\text{C.5})$$

Si la source émet des rayons gamma avec différentes énergies, on peut exprimer le débit de fluence comme suit:

$$\phi = \frac{A}{4\pi r^2} \sum_i p(E_i) \quad (\text{C.6})$$

Noter que la valeur du débit de fluence obtenue à l'aide de la formule (C.6) dépendra de l'énergie de coupure utilisée dans le calcul. En raison de la réponse de l'instrument, il est suggéré d'utiliser une énergie de coupure de 40 keV dans la majorité des calculs.

Les probabilités d'émission énumérées dans LNE-LNHB, Le Laboratoire National Henri Becquerel, Table des radionucléides (http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm) doivent être utilisées pour ces calculs; si un radionucléide n'est pas énuméré dans le document LNE-LNHB, Le Laboratoire National Henri Becquerel, Table des radionucléides, utiliser les données énumérées dans le document Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF) National Nuclear Data Center, Chart of Nuclides (<http://www.nndc.bnl.gov/>).

Si les données exigées ne sont pas disponibles dans le LNE-LNHB ou l'ENSDF, une liste des pics photoélectriques et des probabilités d'émission utilisés dans le calcul doit être insérée dans la documentation d'accompagnement.

Le débit de fluence associé à une même ligne d'énergie gamma, E , peut être mesuré à l'aide d'un spectromètre gamma équipé d'un détecteur au HPGe ou au NaI(Tl). Dans ce cas, on peut exprimer le débit de fluence comme suit:

$$\phi = \frac{Area_{net} \times \epsilon(E)}{T_{Live} \times 4\pi r^2} \quad (C.7)$$

Où $Area_{net}$ est la surface nette du pic photoélectrique de la ligne d'énergie gamma E , $\epsilon(E)$ est l'efficacité au pic d'absorption totale du détecteur pour la ligne d'énergie gamma E et T_{Live} est le temps actif de la mesure (exprimé en secondes) (voir *Gamma- and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors*. K. Debertin and R.G. Helmer. Editor North-Holland, 1998 Edition).

Le Tableau C.1 ci-dessous présente des exemples de calculs du débit de fluence.

Tableau C.1 – Exemples de calculs du débit de fluence

Fluence rate (photons/s/cm ²) (cut-off energy 40 keV)	0,642						3,4		4,01	
Distance (m)	0,75	1	1,5	2,5	5	6	1	2,5	1	2,5
Radionuclide	Activity (kBq)									
⁵⁷ Co	47	84	188	523	2091	3011	443	2778	523	3267
¹³³ Ba	33	59	133	370	1478	2129	313	1958	369	2308
¹³⁷ Cs	53	95	213	592	2369	3412	502	3138	592	3703
⁶⁰ Co	23	40	91	253	1012	1457	214	1337	252	1578
²³² Th	13	23	53	147	586	844	124	775	146	914
²⁴¹ Am	127	225	505	1404	5617	8088	1190	7433	1403	8766
²²⁶ Ra	22	38	87	241	963	1386	204	1275	241	1502

Légende

Anglais	Français
Fluence rate	Débit de fluence
(photons/s/cm ²)	(photons/s/cm ²)
(cut-off energy 40 keV)	(énergie coupure 40 keV)
Radionuclide	Radionucléide
Activity	Activité

Annexe D (normative)

Calcul du débit d'équivalent de dose ambiant

Afin de déterminer de façon cohérente le débit d'équivalent de dose ambiant, $\dot{H}^*(10)$, pour tous les utilisateurs de cette norme, la méthode suivante doit être utilisée. Il peut y avoir des méthodes différentes et peut-être meilleures d'effectuer ces déterminations; le problème le plus important à aborder dans cette norme est toutefois la reproductibilité et la cohérence entre les différents laboratoires d'essai dans la manière de déterminer les champs de rayonnement. A cause des débits d'équivalent de dose ambiant faibles (par exemple, $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ au-dessus du bruit de fond) exigés pour effectuer certains essais, il ne serait pas possible de faire des mesures précises avec l'incertitude exigée par la norme de $\pm 20 \%$ ($k = 1$).

La méthode proposée suppose une source ponctuelle dans l'air et ne tient pas compte de l'accumulation dans l'air. L'énergie de coupure δ utilisée pour les calculs doit être de 40 keV. Pour des raisons pratiques, toutes les émissions de photons avec une probabilité supérieure à 0,5 % doivent être incluses dans le calcul. (The physics of radiology, 4th Edition, Publisher Charles C. Thomas, Authors: Harold Elford Johns and John Robert Cunningham (1983)).

Pour la source ponctuelle dans le vide, le débit de fluence $\dot{\Phi}_i$ des photons avec l'énergie E_i à une distance radiale r est simplement $\frac{AP_i}{4\pi r^2}$, où A est l'activité source et où P_i est la probabilité par désintégration qu'un photon d'énergie E_i soit émis. Sur la base d'un équilibre de la particule chargée, le débit de kerma dans l'air $\dot{K}_i$ des photons d'énergie E_i est alors $\dot{K}_i = \dot{\Phi}_i E_i \frac{\mu_{tr}(E_i)}{\rho_{air}}$, où $\frac{\mu_{tr}(E_i)}{\rho_{air}}$ est le coefficient de transfert d'énergie de masse de l'air (Seltzer, 2004). En général, pour une source ponctuelle dans le vide, l'émission de plus d'un photon d'énergie par le débit de kerma dans l'air est obtenue en additionnant toutes les énergies de photons comme suit:

$$\dot{K}_\delta = \sum_i \frac{A P_i E_i \mu_{tr}(E_i)}{4\pi r^2 \rho_{air}}, \quad (\text{D.1})$$

Où δ dénote l'énergie minimale des photons incluse.

Considérons maintenant la source ponctuelle entourée par des coques sphériques de matériau d'encapsulation dans un support d'air infini. Chaque matériau d'encapsulation qui entoure la source aura une épaisseur de z_j et une densité de ρ_j . L'atténuation du faisceau de photons de tout matériau qui entoure la source et la colonne d'air entre la source et le point de détection peut être comptée à l'aide de l'estimation suivante du débit de kerma dans l'air à une distance radiale de r :

$$\dot{K}_\delta = \frac{A}{4\pi r^2} \sum_i P_i E_i \frac{\mu_{tr}(E_i)}{\rho_{air}} \exp\left[-\sum_j \frac{\mu_j(E_i)}{\rho_j} \rho_j z_j\right] \exp\left[-\frac{\mu_{air}(E_i)}{\rho_{air}} \rho_{air} r\right], \quad (\text{D.2})$$

Où μ_j/ρ_j est le coefficient d'atténuation de la masse pour la couche d'encapsulation d'épaisseur z_j et la densité ρ_j , et μ_{air}/ρ_{air} est pour l'air. Noter que la formule D.2 compte deux valeurs exponentielles. La première concerne l'atténuation de tous les matériaux qui entourent la source et la deuxième concerne l'atténuation de la colonne d'air. A partir de la formule D.2, une expression pour le débit d'équivalent de dose ambiant, $\dot{H}^*(10)$, peut être facilement dérivée pour le cas pratique d'une source encapsulée dans l'air comme:

$$\dot{H}^*(10) = \frac{A}{4\pi r^2} \sum_i h_K^*(10)_i P_i E_i \frac{\mu_{tr}(E_i)}{\rho_{air}} \exp\left[-\sum_j \frac{\mu_j(E_i)}{\rho_j} z_j \rho_j\right] \exp\left[-\frac{\mu_{air}(E_i)}{\rho_{air}} r \rho_{air}\right], \quad (D.3)$$

Où $h_K^*(10)$ est le coefficient de conversion du kerma de l'air vers l'équivalent de dose ambiante pour le rayonnement de photons mono-énergétiques et parallèle et où l'utilisation de l'énergie de coupure δ est supposée.

Afin de garantir que tous les laboratoires d'essai obtiennent une valeur calculée cohérente du débit d'équivalent de dose ambiant, les coefficients et les valeurs des différentes quantités utilisées dans les équations ci-dessus ne doivent provenir que des références suivantes:

- Les valeurs $h_K^*(10)$ doivent être prises de la norme ISO 4037-3:1999. A des fins pratiques, ces valeurs sont également fournies dans le Tableau D.1.
- μ_i/ρ_i et ρ_j doivent être obtenus depuis la base de données XCOM; voir la référence (National Institute of Standards and Technology (NIST), 2012, XCOM: Photon Cross Sections Database, disponible à l'adresse <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>).
- P_i doit être obtenu à partir d'une référence [LNE-LNHB, Le Laboratoire National Henri Becquerel, Table des radionucléides, http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm]; si un radionucléide n'est pas énuméré dans (LNE-LNHB, Le Laboratoire National Henri Becquerel, Table des radionucléides, http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm), (ENSDF, Evaluated Nuclear Structure Data File, National Nuclear Data Center, Chart of Nuclides, <http://www.nndc.bnl.gov/>) doit être utilisé. A des fins pratiques, à cause de la longue chaîne de décroissance, les valeurs des probabilités par désintégration (P) pour ^{232}Th et ^{226}Ra (en équilibre) sont énumérées au Tableau D.2.
- Les valeurs de μ_{tr}/ρ_{air} et de μ_{air}/ρ_{air} sont données dans le Tableau D.3.
- La densité de l'air doit être $\rho_{air} = 0,0012 \text{ g/cm}^3$.
- L'énergie de coupure δ utilisée pour les calculs doit être de 40 keV.
- Toutes les émissions de photons avec une probabilité supérieure à 0,5 % doivent être incluses dans le calcul.

Cette méthode suppose que les sources utilisées ont une auto-atténuation faible ou négligeable. Cela signifie que les dimensions et/ou que la densité des matériaux de la source active sont telles que l'atténuation dans la source est négligeable. Les corrections appropriées de la formule D.3 doivent être appliquées au compte pour l'auto-atténuation de la source dans le cas de sources de grande taille et/ou denses.

Tableau D.1 – Coefficient de conversion $h_K^*(10)$ du kerma de l'air, K , à l'équivalent de dose ambiant, $H^*(10)$, pour les faisceaux de photons mono-énergétiques et parallèles

Energie des photons keV	$h_K^*(10)$ Sv/Gy
10	0,008
15	0,26
20	0,61
30	1,10
40	1,47
50	1,67
60	1,74
80	1,72
100	1,65

Energie des photons keV	$h_K^*(10)$ Sv/Gy
150	1,49
200	1,40
300	1,31
400	1,26
500	1,23
600	1,21
800	1,19
1000	1,17
1500	1,15
2000	1,14
3000	1,13
4000	1,12
5000	1,11
6000	1,11
8000	1,11
10000	1,10

Tableau D.2 – Probabilités par désintégration pour ^{232}Th et ^{226}Ra (en équilibre) comme fonction de l'énergie des photons

^{232}Th (en équilibre)		^{226}Ra (en équilibre)	
Energie des photons keV	<i>P</i>	Energie des photons keV	<i>P</i>
72,805	7,51E-03	46,539	4,312E-02
74,815	1,04E-01	53,228	1,060E-02
74,969	1,26E-02	74,816	6,26E-02
77,107	1,75E-01	77,109	1,047E-01
84,373	1,22E-02	79,293	7,12E-03
86,83	2,09E-02	87,344	3,59E-02
87,349	4,01E-02	89,784	6,70E-03
89,784	1,46E-02	90,074	1,10E-02
89,957	1,96E-02	186,211	3,555E-02
93,35	3,19E-02	241,997	7,268E-02
99,509	1,26E-02	258,87	5,24E-03
105,604	7,40E-03	295,224	1,8414E-01
115,183	5,92E-03	351,932	3,56E-01
129,065	2,42E-02	609,312	4,549E-01
153,977	7,22E-03	665,453	1,53E-02
209,253	3,89E-02	768,356	4,892E-02
238,632	4,33E-01	785,96	1,064E-02
240,986	4,10E-02	806,174	1,262E-02
270,245	3,46E-02	839,04	5,87E-03
277,351	2,27E-02	934,061	3,10E-02

²³² Th (en équilibre)		²²⁶ Ra (en équilibre)	
Energie des photons keV	P	Energie des photons keV	P
300,087	3,28E-02	1120,287	1,491E-01
328	2,95E-02	1155,19	1,635E-02
338,32	1,13E-01	1238,111	5,831E-02
409,462	1,92E-02	1280,96	1,435E-02
463,004	4,40E-02	1377,669	3,968E-02
510,77	8,12E-02	1385,31	7,95E-03
562,5	8,70E-03	1401,5	1,33E-02
583,191	3,04E-01	1407,98	2,389E-02
726,863	6,20E-03	1509,228	2,128E-02
727,33	6,58E-02	1583,22	7,07E-03
755,315	1,00E-02	1661,28	1,048E-02
763,13	6,52E-03	1729,595	2,844E-02
772,291	1,49E-02	1764,494	1,531E-01
794,947	4,25E-02	1847,42	2,025E-02
830,486	5,40E-03	2118,55	1,158E-02
835,71	1,61E-02	2204,21	4,913E-02
840,377	9,10E-03	2447,86	1,548E-02
860,564	4,46E-02		
904,19	7,70E-03		
911,204	2,58E-01		
964,766	4,99E-02		
968,971	1,58E-01		
1078,62	5,64E-03		
1247,08	5,00E-03		
1459,138	8,30E-03		
1495,93	8,60E-03		
1580,53	6,00E-03		
1588,19	3,22E-02		
1620,5	1,49E-02		
1630,627	1,51E-02		
2614,453	3,56E-01		

Tableau D.3 – Valeurs des coefficients de transfert d'énergie de masse, d'absorption d'énergie de masse et d'atténuation de masse pour l'air

Energie des photons MeV	μ_{tr}/ρ cm ² /g	μ/ρ cm ² /g
1,000E-03	3,599E+03	3,606E+03
1,500E-03	1,188E+03	1,191E+03
2,000E-03	5,263E+02	5,279E+02
3,000E-03	1,615E+02	1,625E+02
3,203E-03	1,330E+02	1,340E+02
3,203E-03	1,460E+02	1,485E+02
4,000E-03	7,637E+01	7,788E+01
5,000E-03	3,932E+01	4,027E+01
6,000E-03	2,271E+01	2,341E+01
8,000E-03	9,448E+00	9,921E+00
1,000E-02	4,743E+00	5,120E+00
1,500E-02	1,334E+00	1,614E+00
2,000E-02	5,391E-01	7,779E-01
3,000E-02	1,538E-01	3,538E-01
4,000E-02	6,836E-02	2,485E-01
5,000E-02	4,100E-02	2,080E-01
6,000E-02	3,042E-02	1,875E-01
8,000E-02	2,408E-02	1,662E-01
1,000E-01	2,326E-02	1,541E-01
1,500E-01	2,497E-02	1,356E-01
2,000E-01	2,674E-02	1,233E-01
3,000E-01	2,875E-02	1,067E-01
4,000E-01	2,953E-02	9,549E-02
5,000E-01	2,971E-02	8,712E-02
6,000E-01	2,958E-02	8,055E-02
8,000E-01	2,889E-02	7,074E-02
1,000E+00	2,797E-02	6,358E-02
1,250E+00	2,675E-02	5,687E-02
1,500E+00	2,557E-02	5,175E-02
2,000E+00	2,359E-02	4,447E-02
3,000E+00	2,076E-02	3,581E-02
4,000E+00	1,894E-02	3,079E-02
5,000E+00	1,770E-02	2,751E-02
6,000E+00	1,683E-02	2,522E-02
8,000E+00	1,571E-02	2,225E-02
1,000E+01	1,506E-02	2,045E-02
1,500E+01	1,434E-02	1,810E-02
2,000E+01	1,415E-02	1,705E-02

Bibliographie

IEC 60068-2-27, *Essais d'environnement – Partie 2-27: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

IEC 60068-2-64, *Essais d'environnement – Partie 2-64: Essais – Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande et guide*

IEC 60068-2-75, *Essais d'environnement – Partie 2-75: Essais – Essai Eh: Essais aux marteaux*

IEC 60068-3-8, *Essais d'environnement – Partie 3-8: Documentation d'accompagnement et lignes directrices – Sélection d'essais de vibrations*

IEC 60079-11, *Atmosphères explosives – Partie 11: Protection de l'équipement par sécurité intrinsèque "i"*

IEC 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

IEC 61000-4-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques*

IEC 61000-4-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*

IEC 61000-4-6, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*

IEC 61000-4-8, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-8: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau*

UL-913, *Intrinsically Safe Apparatus and Associated Apparatus for Use in Class I, II, and III, Division 1, Hazardous (Classified) Locations*

ANSI N42.42, *American National Standard Data Format Standard for Radiation Detectors Used for Homeland Security*

FCC Rules, Code of Federal Regulations, Title 47, Part 15, *Radio Frequency Devices*

AIEA, *Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives*, Tableau 1, 2004

Guide de sûreté n° RS-G-1.9 de l'AIEA, *Catégorisation des sources radioactives*

ICRU Report 60, 1998, Fundamental quantities and units for ionizing radiation, *Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements*

Casella G. & Berger R. L., 2002, *Statistical Inference*, Second Edition. Pacific Grove, CA: Duxbury

DeGroot M. H., 1989, *Probability and Statistics*, Second ed., Reading, MA: Addison-Wesley. York: John Wiley & Sons, Inc.

P. J. Bickel and K. Doksum, 1977, *Mathematical Statistics*, Holden-Day, San Francisco, CA

K. Debertin and R.G. Helmer, *Gamma- and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors*, Editor North-Holland, 1998 Edition

Seltzer, S.M., Air-Kerma-Rate Coefficients for Selected Photon-Emitting Radionuclide Sources, *National Institute of Standards and Technology publication NISTIR 7092A (2004)*

National Institute of Standards and Technology (NIST), 2012, XCOM: Photon Cross Sections Database, disponible à l'adresse <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>

LNE-LNHB, Le Laboratoire National Henri Becquerel, Table des radionucléides, http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm

ENSDF, Evaluated Nuclear Structure Data File, National Nuclear Data Center, Chart of Nuclides, <http://www.nndc.bnl.gov/>

ISO 4037-3:1999, *Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons – Partie 3: Étalonnage des dosimètres de zone (ou d'ambiance) et individuels et mesurage de leur réponse en fonction de l'énergie et de l'angle d'incidence*

Tables of x-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements $Z = 1$ to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest, NISTIR 5632, J.H. Hubbell and S.M. Seltzer, May 2005, <http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/>

The physics of radiology, 4th Edition, Publisher Charles C. Thomas, Authors: Harold Elford Johns and John Robert Cunningham, 1983

Pibida, L., Measurements for the Development of a Simulated Naturally Occurring Radioactive Material, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, Volume 117, 2012, (<http://dx.doi.org/10.6028/jres.117.008r2012>)

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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