

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Radiation protection instrumentation – Measurement of discrete radionuclides in the environment – In situ photon spectrometry system using a germanium detector

Instrumentation pour la radioprotection – Mesure de radionucléides discrets présents dans l'environnement – Système de spectrométrie gamma in situ utilisant un détecteur au germanium





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
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.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line 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 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

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 la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. 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 au monde 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 les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

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.



IEC 61275

Edition 2.0 2013-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Radiation protection instrumentation – Measurement of discrete radionuclides in the environment – In situ photon spectrometry system using a germanium detector

Instrumentation pour la radioprotection – Mesure de radionucléides discrets présents dans l'environnement – Système de spectrométrie gamma in situ utilisant un détecteur au germanium

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 13.280

ISBN 978-2-83220-824-3

**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.....	5
1 Scope and object.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions	8
3.1 Definitions	8
3.2 Test nomenclature.....	10
4 General requirements	10
4.1 Basic components	10
4.2 Examples of detector types.....	11
5 Classification of the performance characteristics.....	11
6 General characteristics	11
6.1 Indication.....	11
6.2 Effective range of measurement of an assembly	12
6.3 Detector cooling	12
6.4 Detector type	12
6.5 Detector housing	12
6.6 Detector window	12
6.7 Ease of decontamination.....	12
6.8 Safety considerations	12
6.9 Calibration	12
7 General test procedures.....	12
7.1 Nature of tests.....	12
7.2 Reference conditions and standard test conditions	13
7.3 Position of assembly for purposes of tests	13
7.4 Statistical fluctuations.....	13
7.5 Low-level measurements	13
7.6 Reference radiation	13
8 Radiation tests.....	13
8.1 Variation of response with photon radiation energy.....	13
8.1.1 Requirements	13
8.1.2 Test method	14
8.2 Variation of response with angle of incidence	14
8.2.1 Requirements	14
8.2.2 Test methods.....	14
8.3 Resolution	14
8.3.1 Requirements	14
8.3.2 Test methods.....	14
8.4 Background contamination from the instrument assembly	14
8.4.1 Requirements	14
8.4.2 Test method	15
9 Assembly characteristics.....	15
9.1 Statistical fluctuations.....	15
9.1.1 Requirements	15
9.1.2 Test method	15
9.2 Warm-up time.....	15
9.2.1 Requirements	15

9.2.2	Test method	15
9.3	Power supplies – Battery operation	15
9.3.1	Requirements – batteries	15
9.3.2	Test method	15
9.4	Power supplies – Mains operation	16
9.4.1	Requirements	16
9.4.2	Test method	16
10	Mechanical characteristics	16
10.1	Vibration and shock damage during transport and shipping	16
10.1.1	Requirements	16
10.1.2	Tests for vibration damage.....	16
10.1.3	Tests for vibration resistance	17
10.1.4	Tests for mechanical shock.....	17
10.1.5	Tests for mechanical resistance	17
11	Environmental requirements and tests	18
11.1	Requirements and tests at temperature extremes	18
11.1.1	Requirements	18
11.1.2	Test method	18
11.2	Influence of relative humidity (RH)	19
11.2.1	Requirements	19
11.2.2	Test method	19
11.3	Wind resistance requirements and tests.....	19
11.3.1	Requirements	19
11.3.2	Test method	19
11.4	Temperature cycling of detector.....	19
11.4.1	Requirements	19
11.4.2	Test method	19
11.5	Sealing requirements.....	19
11.6	External electromagnetic fields	20
11.6.1	General	20
11.6.2	Requirements	20
11.6.3	Test method	20
11.7	External magnetic fields.....	20
11.7.1	Requirements	20
11.7.2	Test method	20
11.8	Storage and transport.....	20
12	Calibration recommendations.....	20
13	Documentation	20
13.1	Certificate.....	20
13.2	Operation and maintenance manuals	21
Annex A (informative)	Calibration	26
Annex B (informative)	Estimation of detector response from detector size, shape and relative efficiency.....	27
Annex C (informative)	Data interpretation and use	28
Annex D (informative)	Expected total-absorption-peak count rates per unit deposition for selected freshly deposited radionuclides	31
Annex E (informative)	Relative intrinsic uncertainty.....	32
Bibliography		33

Figure 1 – Angular distribution of incident fluence	25
Table 1 – Reference and standard test conditions.....	22
Table 2 – Tests performed with variation of influence quantities.....	23
Table 3 – Mechanical performance under test conditions	24
Table 4 – Tests for vibrating survival capability at various fixed frequencies.....	24
Table 5 – Tests for vibration resistance at smoothly varying frequencies.....	25
Table C.1 – Primary photon fluence in air at a height of 1 m above the ground per unit source photon per unit area of exponentially distributed sources in the ground	29
Table D.1 – Total absorption peak count rate per minute per kBq· m ⁻²	31

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – MEASUREMENT OF
DISCRETE RADIONUCLIDES IN THE ENVIRONMENT – *IN SITU* PHOTON
SPECTROMETRY SYSTEM USING A GERMANIUM DETECTOR**

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 IEC 61275 has been prepared by subcommittee 45B: Radiation protection instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

This second edition cancels and replaces the first edition issued in 1997. It constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to the previous edition are as follows:

- update the terminology to encompass the latest technologies,
- revise test methods to account for methodological developments and performance criteria with the latest HPGe detector technologies and digital electronics.

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

FDIS	Report on voting
45B/762/FDIS	45B/769/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.

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – MEASUREMENT OF DISCRETE RADIONUCLIDES IN THE ENVIRONMENT – *IN SITU* PHOTON SPECTROMETRY SYSTEM USING A GERMANIUM DETECTOR

1 Scope and object

This International Standard is applicable to a portable or transportable photon spectrometry assembly using a high purity germanium (HPGe) detector to survey, *in situ*, generally at 1 m above ground level, areas in the environment for discrete radionuclides. Such equipment is used to make rapid assessments of activity levels and corresponding free air exposure rates from photon emitting radionuclides. Such measurements may be used to develop guidance for subsequent follow-up action, for example including radiological assessments, sampling and monitoring programmes. (This standard does not apply to mobile measurement systems that are covered by a separate standard. See IEC 62438.)

This standard specifies for such an assembly the general characteristics and test methods for evaluating radiation, electrical, mechanical, safety and environmental characteristics specific to the applications described above. Advice is also provided in annexes as to the calibration, appropriate use and interpretation of the system for *in situ* measurements.

An *in situ* spectrometry system is a combination of instruments or assemblies designed to measure, *in situ*, the fluence of gamma-rays incident on the detector, in order to rapidly survey areas for discrete radionuclides present in the soil or air, either natural or manmade.

The purpose of this standard is to specify the performance characteristics of assemblies intended for the determination of surface soil activity.

Accordingly, this standard

- a) specifies the functions and performance characteristics of measuring assemblies; and
- b) specifies the methods of testing compliance against the requirements of this standard.

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 60068 (all parts), *Environmental testing*

IEC 61010-1, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use – Part 1: General requirements*

IEC 61187:1993, *Electrical and electronic measuring equipment – Documentation*

IEC 62438:2010, *Radiation protection instrumentation – Mobile instrumentation for the measurement of photon and neutron radiation in the environment*

ISO 4037 (all parts), *X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose ratemeters and for determining their response as a function of photon energy*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

NOTE The general terminology concerning detection and measurement of ionizing radiation, nuclear instrumentation and germanium detectors is given in IEC 60050-393, IEC 60050-394 and IEC 60973.

3.1 Definitions

3.1.1

angular response

the variation in response to a radionuclide of interest when it is moved in a fixed radius from the assembly through angle **theta** from the normal (usually $\theta = 0^\circ$; see Figure 1)

Note 1 to entry: For cylindrical detectors it is only necessary to do this in a single plane.

3.1.2

coefficient of variation

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

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

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

3.1.3

collimation

shielding used to systematically reduce the angular response and thus field of view of a detector

3.1.4

detection threshold

lower detection limit

value of the indication of the measurement for which the relative random uncertainty equals $\pm 100\%$ at the probability level of 95 %

[SOURCE: IEC 60050-394:2007, 394-40-20]

3.1.5

effective range of measurement

range of values of the quantity to be measured over which the performance of an assembly meets the requirements of this standard

3.1.6

energy calibration function

the function required to convert channel number to gamma-ray energy (keV)

3.1.7

energy resolution

the range in keV over which the response is greater than 50 % (Full Width at Half maximum – FWHM) at a defined energy peak

3.1.8**field of view**

the area and volume of soil “viewed” by detector (effective sample size), usually defined as the radial distance from which 90 % of the total incident gamma-ray fluence is derived

3.1.9**internal background**

the count rate (counts per unit time) due to gamma-rays emitted from radionuclides intrinsic to the detector assembly

3.1.10**N-type detector**

a HPGe detector with the ion implanted surface or rectifying surface being the P+ surface that is usually the outer surface of a detector crystal

3.1.11**P-type detector**

a HPGe detector with the ion implanted surface or rectifying surface being the N+ surface that is usually the outer surface of a detector crystal

3.1.12**portable system**

a system that can be carried by one or two persons and with which field measurements can be made while stationary or being carried. The system is completely battery-operated.

3.1.13**relative efficiency**

The ratio, expressed in percentage, of the count rate in the 1 333 keV total absorption peak of ⁶⁰Co to the corresponding one obtained with a 76 mm × 76 mm NaI(Tl) scintillator for normal incidence and at 25 cm from the source

3.1.14**relative uncertainty of an indication**

the relative uncertainty, I , of the indication of an assembly is given, as a percentage, by the relationship:

$$I = \frac{(H_i - H_t)}{H_t} \times 100 \%$$

where

H_i is the indicated value and H_t the conventionally true value.

3.1.15**reference point of an assembly**

a physical mark or marks on the assembly to be used in order to position it at a point where the conventionally true value of the quantity to be measured is known. Generally, this point is taken to be the location of the face of the germanium detector but will be dependent on the exact construction of the detector assembly.

3.1.16**reference soil**

an area of soil of extent greater than 10 m diameter for which the activity of particular radionuclides has been well characterized as to concentration (Bq/kg) and distribution with depth

3.1.17

response

the response, R , of an assembly is the ratio of the indicated value H_i of the incident fluence at a given photon energy as inferred from the full energy peak area to the conventionally true value H_t of the incident fluence. This may also be inferred to mean efficiency.

3.1.18

transportable system

a system that may be mounted in a vehicle, and is connected to the detector via a long signal cable. The system generally uses an external power source and cannot be easily carried by a single person.

3.2 Test nomenclature

3.2.1

qualification test

test performed in order to verify that the requirements of a specification are fulfilled. Qualification tests are divided into type tests and routine tests.

3.2.2

type test

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

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

3.2.3

routine test

conformity test made on each individual item during or after manufacture

[SOURCE: IEC 60050-394:2007, 394-40-03]

3.2.4

acceptance test

contractual test to prove to the customer that the device fulfills certain specifications

[SOURCE: IEC 60050-394:2007, 394-40-05]

4 General requirements

4.1 Basic components

A complete *in situ* photon spectrometry system consists of a number of individual subsystems or instruments. The individual components are generally not unique in that the same components may all be routinely used in other field and laboratory gamma-ray counting systems. Their use *in situ*, as part of a special integrated portable or transportable system, requires stringent environmental and mechanical qualifications as well as special electrical, mechanical, and safety considerations not generally required for routine laboratory use. All individual components including preamplifier, spectroscopy amplifier, power supply, data acquisition and storage system, shall satisfy all applicable IEC standards governing their normal manufacture and usage as well as the particular requirements of this standard. Their use as an *in situ* system also requires special calibrations and careful interpretation of results. Usually the assembly comprises the following components:

- a) a gamma-ray detector, HPGe N-type or P-type detector (the detector includes an integral cryostat and internally cooled charge-sensitive preamplifier);
- b) a spectroscopy amplifier and high-voltage (HV) power electronics;

- c) data processing equipment that includes data acquisition capability, data recording capability and visual display; it may be based on a multi-channel analyzer (MCA) with a minimum of 4 096 channels, personal computer with built-in MCA capability or other comparable devices;
- d) a system power supply (see 9.4);
- e) all necessary connecting cables;
- f) a tripod or other type of support to mount the detector at a fixed height above the ground in the field during acquisition of a gamma-ray spectrum;
- g) a detector cooling system, which needs to be either a liquid nitrogen storage system (cryostat and dewar) or an electromechanical cooler for maintaining the Ge crystal at correct operating temperature;
- h) a lightweight rugged, stable platform for mounting the detector at a fixed height above ground shall be provided. The height and orientation of the mount should be repeatable. The manufacturer shall state the effect of the mount position relative to the field of view and the mass of material in the mount.

4.2 Examples of detector types

In a rapid survey of limited areas for discrete radionuclides, a portable system consisting of a hand-held HPGe detector-cooler assembly and a portable data processing assembly (generally a stand-alone or PC-based MCA with built-in detector bias HV and spectroscopy amplifier) is recommended. For applications where portability is not essential, a transportable system can be used. Transportable systems might, for example, consist of separate MCA, electronics and power supply modules mounted inside a vehicle connected by an umbilical cable to a HPGe detector in the field. For some applications, the detector may even be mounted on the vehicle (refer to IEC 62438). Where survey work requires the detection of low energy gamma-ray, below 100 keV and down to 3 keV, an N-type detector or specially adapted P-type detector with a suitable beryllium or carbon fibre window may be more suitable than a standard P-type detector encased in aluminum.

5 Classification of the performance characteristics

The limits of variation in the indication of an assembly are specified for each performance characteristic in Tables 1 to 5 and in the appropriate subclauses. For some applications it may not be deemed essential for an assembly to meet all the requirements set out below. In such cases, the requirements to be applied to the assemblies may be specified by agreement between the manufacturer and the purchaser, but the determination of the characteristics of the assemblies shall conform to the methods given in the present standard.

If the mass, overall dimensions and construction of the instrument does not permit the testing of the complete system as a whole by means of the existing test equipment, each component may be tested separately in conformity with the present standard followed by a complete check of the entire system under normal operating conditions. The procedure used for the test shall be specified.

6 General characteristics

6.1 Indication

The indications of the assembly shall be in units of counts per channel and total counts in selected total absorption peaks per unit time. The full spectrum, typically from 20 keV to 2 700 keV, should be accessible and energy calibrated to enable easy identification of radionuclides. The indications of the assembly shall also be in units of activity per unit area or mass for a given nuclide, for example Bq·m⁻² or Bq·kg⁻¹ for selected or defined depth profile(s), as agreed upon between the purchaser and the manufacturer.

6.2 Effective range of measurement of an assembly

When the test methods do not extend over the entire effective range of measurement and any of the observed variations are near the permitted limit, further tests to demonstrate compliance with the requirement in question over the whole effective range of measurement may be necessary. Such further tests shall be the subject of agreement between the manufacturer and the purchaser. For these systems the effective range of measurement is determined primarily by the characteristics of the analog to digital conversion (dead time) and pile-up of pulses in the amplifier and shall be specified by the manufacturer.

6.3 Detector cooling

The detectors should be maintained at a temperature between 80 K and 100 K and should be capable of at least 8 h of continuously uninterrupted use. The manufacturers should specify the cool down time.

6.4 Detector type

For maximizing low energy (E) detection (e.g., from ^{241}Am 60 keV photons), an N-type or special modified P-type germanium detector should be preferred over a P-type detector.

6.5 Detector housing

The housing shall be designed to minimize the attenuation of gamma-ray and the intrinsic background. If found necessary, to minimize further the attenuation of low energy incident gamma-rays, an entrance window, typically beryllium or carbon of thickness less than $0,3 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$, shall be used. The maximum thickness of the entrance window shall be such that the attenuation of 1 333 keV gamma-rays incident axially ($\theta = 0$) shall be less than 2 %.

6.6 Detector window

The detector window should be designed to minimize the possibility of damage or breakage. If Be is used, instructions shall be provided for the safe handling of Be.

6.7 Ease of decontamination

The assembly shall be designed and constructed in such a manner as to facilitate decontamination.

6.8 Safety considerations

The instruments shall comply with the safety requirements of IEC 61010-1.

6.9 Calibration

The requirements to calibration should be specified by agreement between the manufacturer and the purchaser, but calibration recommendations is represented in Annex A.

7 General test procedures

7.1 Nature of tests

Unless otherwise specified in the individual clauses, all the tests enumerated in this standard shall be considered type tests (see 3.3.1). Certain tests may be considered acceptance tests by agreement between the manufacturer and the purchaser (see 3.3.1).

7.2 Reference conditions and standard test conditions

Reference conditions are given in the second column of Table 1. Except where otherwise specified, the tests in this standard shall be carried out under the standard test conditions given in the third column of Table 1.

For those tests intended to determine the effects of variations in the influence quantities given in Table 1, all other influence quantities shall be maintained within the limits for standard test conditions given in Table 1, unless otherwise specified in the test procedure concerned.

7.3 Position of assembly for purposes of tests

For all tests involving the use of radiation, the reference point of the assembly (see 3.16) shall be placed at the point where the conventionally true value of the quantity to be measured is known, and in the orientation of the assembly indicated by the manufacturer.

7.4 Statistical fluctuations

For any test involving the use of radiation, if the magnitude of the statistical fluctuations of the indication arising from the random nature of radiation alone is a significant fraction of the variation of the indication permitted in the test, then sufficient readings shall be taken to ensure that the mean value of such readings may be estimated with sufficient accuracy to demonstrate compliance with the test in question.

The interval between such readings shall be sufficient to ensure that the readings are statistically independent.

7.5 Low-level measurements

For the measurement of low levels of radioactive materials, it is necessary to take into account of the contribution of background radiation from the instrument assembly to the indication at the point of test (Annex E).

7.6 Reference radiation

Unless otherwise specified in the individual methods of test, all tests involving the use of gamma-ray radiation shall be carried out with the nuclide ^{60}Co or ^{137}Cs (see Table 1). The nature, construction and conditions of use of the radiation sources shall be in accordance with ISO 4037.

8 Radiation tests

8.1 Variation of response with photon radiation energy

8.1.1 Requirements

The indication of the assembly when exposed to photon radiation point sources in the calibration direction and of energy between 60 keV and 2 500 keV shall not differ from the conventionally true value of the fluence of photons from such sources by more than the following limits:

60 keV to 300 keV: $\pm 10 \%$

300 keV to 2 500 keV: $\pm 5 \%$

8.1.2 Test method

The assembly shall be exposed to photon sources as specified in ISO 4037, having energies spanning this range.

8.2 Variation of response with angle of incidence

8.2.1 Requirements

For the purposes of a calibration based on theoretical solutions (Annex A), the angular response of the detector should be characterized. The response will vary as the angle of incidence of the radiation changes relative to the reference orientation (Figure 1a).

Measurements shall be made at a distance of at least 1 m from the reference point and at least nine azimuthal angles (θ) between 0° and 90° and three axial (Ψ) positions between 0° and 180° . A type test may be sufficient for detectors of similar size and shape and identical housing.

8.2.2 Test methods

The assembly shall be exposed to a suite of radiation energies over the energy range of interest, for example 40 keV to 2 500 keV. At each radiation energy the detector shall be placed along a reference direction specified by the manufacturer for calibration purposes (generally $\theta = 0^\circ$, $\Psi = 0^\circ$; see Figure 1a). The reading in this position shall be noted. The detector shall then be moved relative to the source through angles from $\theta = 0^\circ$ to $\theta = 90^\circ$, in steps of 10° keeping Ψ being kept constant, and the readings noted. The range for θ may be reduced for collimated detectors.

Similar observations shall then be taken at $\Psi = 120^\circ$ and $\Psi = 240^\circ$ from the first arc ($\Psi = 0^\circ$).

The variation of the reading of the assembly to radiation incident at any angle from Ψ , as θ is varied from 0° to 90° , shall be stated by the manufacturer, and shall be used in calibrating the response of the detector.

8.3 Resolution

8.3.1 Requirements

The spectral resolution requirements shall be agreed upon between the customer and manufacturer. Capabilities will vary with crystal size but may be typically $\leq 1,9$ keV (FWHM) at 1 333 keV for a HPGe detector of 30 % relative efficiency.

8.3.2 Test methods

The resolution shall be measured by the manufacturer for each detector with a high grade laboratory gamma-ray spectrometry system using a ^{60}Co point source placed at a distance from the detector face such that the system dead time is less than 2 %, and by counting for sufficient time to acquire 10 000 events in the photo peak. The user shall verify the resolution before use, using the same method.

8.4 Background contamination from the instrument assembly

8.4.1 Requirements

The background radiation from the metal housing (including radiation entrance window), molecular sieve or any other material in the vicinity of the detector shall have an equivalent effect no greater than the signal from $2,0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ of natural ^{40}K , ^{232}Th or ^{238}U uniformly distributed in soil since some natural background peaks may overlap fission product peaks.

8.4.2 Test method

Type tests for randomly selected assemblies shall be carried out by accumulating a spectrum for a long enough time interval to verify that the requirement is met within plus/minus two standard deviations at an energy calibration of 1 keV/channel and in a low background shielded room or other facility. Alternatively, individual detector housing components may be analyzed for natural activity by a reputable standards laboratory.

9 Assembly characteristics

9.1 Statistical fluctuations

9.1.1 Requirements

The coefficient of variation of the indication due to statistical fluctuations shall be less than 5 %.

9.1.2 Test method

Expose the assembly to a source of radiation and acquire 10 000 net counts within the full energy peak of interest in a stable background environment. Accumulate a number of spectra over a time interval sufficient to ensure that the mean value of the acquired spectra may be estimated with sufficient precision to demonstrate compliance with the test. Find the mean value and the coefficient of variation of the total absorption area from all spectra obtained. The coefficient of variation so determined shall be within the limits stated in 9.1.1.

9.2 Warm-up time

9.2.1 Requirements

The manufacturer shall state the time taken for an assembly, after being switched on and exposed to the reference radiation, to yield an indication that does not differ by more than 10 % from the final value obtained under standard test conditions. This time shall not exceed 5 min.

9.2.2 Test method

Switch assembly on. Wait for the recommended warm up time. Expose the assembly to a source of radiation giving a count rate corresponding to about the midpoint of the effective range of measurement of the assembly. Accumulate a spectrum over a time interval long enough to ensure that the 1 333 keV total absorption peak area may be determined with sufficient precision to demonstrate compliance with the test. Repeat after the assembly has been switched on for at least 1 h. The difference in indications between the two tests shall be within the limits stated in 9.2.1.

9.3 Power supplies – Battery operation

9.3.1 Requirements – batteries

The battery pack assembly shall be such that it can be easily replaced by a spare pack and charged off-line. When power is supplied by rechargeable batteries, the capacity of these shall be such that, after 4 h of continuous use under standard test conditions, the indication of the assembly shall remain within ± 5 %, with other functions remaining within specifications. If rechargeable batteries are discharged, it should be possible to recharge them from the mains supply within 8 h.

9.3.2 Test method

New batteries of the type indicated by the manufacturer shall be used for this test. Expose the assembly to a radiation field sufficient to provide a suitable indication on the assembly. Leave

the assembly working in this field for the period, or periods, given in 9.3.1 and note the reading at the end of each period. This test shall be repeated with the same batteries before use.

9.4 Power supplies – Mains operation

9.4.1 Requirements

Mains-operated assemblies shall be designed to operate from single phase 47 Hz – 61 Hz and a supply voltage from 100 V to 240 VAC.

The indication shall not vary by more than $\pm 3\%$ over this range of supply voltage.

9.4.2 Test method

Place the detector in a field of gamma-ray radiation from a known source. For each test accumulate a minimum of 10 000 pulses in the total absorption peak.

With the supply voltage at its nominal value, determine the mean indication (total absorption peak area) given by the assembly. Determine the mean indication at a supply voltage 10 % above the nominal value and also that at a supply voltage 12 % below the nominal value. These mean values shall not differ from that obtained with nominal supply voltage by more than $\pm 3\%$. With the frequency varied by ± 3 Hz from the nominal frequency, the readings should not differ by more than $\pm 3\%$ from that at the nominal frequency. The above tests shall then be repeated at an incident fluence sufficient for the assembly to give an indication of at least two-thirds of the upper limit of the effective range of measurement.

10 Mechanical characteristics

10.1 Vibration and shock damage during transport and shipping

10.1.1 Requirements

The assembly shall withstand vibration and shock without damage from routine transport between measurement sites as well as during shipping (see IEC 60068). The assembly shall maintain its performance characteristics within the limits specified by the certificate. The vacuum shall be maintained at all times. Type tests for shock and vibration shall be carried out as specified in Table 3.

10.1.2 Tests for vibration damage

Where required by the purchaser, the tests shall be carried out as follows.

- Conduct a visual inspection and measure characteristics specified in the certificate for a given test type.
- The vibration tests are performed in conformity with Table 3 in three normal directions, unless otherwise specified in the certificate.
- The frequency of vibration shall be changed in one direction. When changing the specified frequencies over the total range, a pulse shall not be less than 2 min duration.
- Fixed frequencies and amplitude of the movement are set in accordance with Table 4.
- Frequencies at which a resonance appears shall be maintained for not less than 2 min.
- The total duration of vibration conditions shall be 60 min. An amplitude of movement at the set vibration acceleration is calculated by:

$$s = 1\,000\, a/(2\pi f)^2 \approx 25\, a/f^2$$

where

s is the amplitude of movement (half a swing) of the vibration table, in mm;

a is the vibration acceleration (amplitude magnitude), in $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$;

f is the vibration frequency, in Hz.

In setting or changing the conditions of the vibration table, the uncertainties shall not be more than $\pm 15\%$ of amplitude; $\pm 20\%$ of acceleration; $\pm 10\%$ of frequency.

After the tests, the instruments shall be checked for mechanical damage or loose fittings. After maintaining normal conditions for the time specified in the certificate, the instruments shall be switched on and the technical characteristics checked as specified for this test type.

10.1.3 Tests for vibration resistance

Where required by the purchaser, the tests shall be performed as follows.

- Carry out an external examination (visual inspection) and check the characteristics specified in the certificate for a given test type.
- Switch off the instruments, fix them rigidly to the vibration machine table in a position suitable for use, then switch on the instruments.
- The tests are carried out by smoothly changing the frequency in the subranges according to Table 3. The time for covering each subrange should be sufficient to check and record the characteristics specified in the certificate, but not less than 3 min. An amplitude of the vibration table movement is calculated by the formula given in 10.1.2.
- Upon detection of frequencies at which there is an instability and deterioration of the characteristics under test, each of these frequencies shall be maintained additionally for the time specified in the certificate, but not less than 5 min. The total duration of vibration conditions shall not be less than 60 min.
- After the tests, the instruments are switched off, removed from the vibration machine table and checked for mechanical damage and loose fittings.
- After maintaining normal conditions for the time specified in the certificate, the instruments shall be switched on and the technical characteristics checked as specified for this test type.

10.1.4 Tests for mechanical shock

Tests shall be carried out as follows.

- After the measurement of the technical characteristics under normal conditions of operation, the instruments are switched off and fixed to a shock machine.
- The shock machine is switched on.
- The acceleration, the shock pulse duration and the number of shocks are set according to Table 3; a test condition is determined according to the Table applicable to the shock machine or by means of devices with a permissible measurement uncertainty not exceeding $\pm 10\%$.
- After the tests, an external examination (visual inspection) is carried out, the instrument is switched on and the characteristics specified in the certificate for a given test type are measured.
- The instruments shall be considered capable of withstanding the shocks if, after the tests, there is no mechanical damage and their characteristics remain compliant with the requirements specified in the certificate for a given test type.

10.1.5 Tests for mechanical resistance

The tests for mechanical resistance during shipping shall be performed as follows.

- An external examination (visual inspection) is carried out, the instrument is switched on and the characteristics specified in the certificate for a given test type are measured.
- The instruments are turned off and packed for shipping in accordance with the design documentation.
- The instruments are fixed on the testing machine in a position acceptable for shipping according to the signs on the boxes.
- The test condition is set according to Table 3 for all conditions of shipping.
- After the tests, the instruments are removed from the test machine and checked for mechanical damage and slackened fixations.
- The instruments are switched on and the characteristics specified in the certificate for a given test type are measured.
- The instruments are considered capable of withstanding the test shocks for mechanical strength, if after the tests, there is no mechanical damage and their characteristics under normal operation remain compliant with the requirements specified in the certificate for a given test type.

11 Environmental requirements and tests

11.1 Requirements and tests at temperature extremes

11.1.1 Requirements

The drift and linearity of the entire system shall not shift by more than one part in $10^3/^\circ\text{C}$ change. The minimum acceptable peak resolution (see 8.4.1) shall be maintained over operating temperatures of -10°C to $+40^\circ\text{C}$. The response shall be within $\pm 5\%$ of that obtained under standard test conditions at -10°C to $+40^\circ\text{C}$. The clock, i.e., the timing circuit, shall be accurate to $\pm 0,1\%$ from -10°C to $+40^\circ\text{C}$. If required, the range may be extended, for example from -20°C to $+50^\circ\text{C}$, by agreement between the purchaser and the supplier.

11.1.2 Test method

This test shall normally be carried out in an environmental chamber. Generally, it shall not be necessary to control the humidity of the air unless the instrument is particularly responsive to humidity.

- Expose the assembly to a suitable source of radiation to yield indications to at least two points within the measuring range and note the readings under standard test conditions (see Table 1).
- The temperature shall then be maintained at each of its extreme values for at least 4 h, and the indication of the assembly measured during the last 30 min of this period.
- Drift and linearity shall be tested using a certified and calibrated pulser at three different energies (channels) spanning the range of input pulses corresponding to gamma-ray peaks of 0,01 MeV to 3 MeV.
- The resolution shall be tested by measuring fluence from a 185-370 kBq (5-10 μCi) ^{60}Co check source placed at 25 cm from and normal to the detector face.

A type test of an entire portable system and transportable detector assembly shall be made for 1 h each at 3 stable temperatures between -10°C and $+40^\circ\text{C}$ and for 1 h while the temperature is continuously varied from 20°C to 30°C and from 20°C to 10°C . There shall be no loss of data from the storage device over the entire environmental test range.

11.2 Influence of relative humidity (RH)

11.2.1 Requirements

The indication (total absorption peak area) of the assembly shall not vary by more than $\pm 5\%$ from that obtained under standard test conditions for all relative humidity up to 95 % at extreme temperatures of 2 °C and 35 °C.

A test of this influence quantity is only required if its effect is expected to be significant.

The gain, linearity, preamplifier noise (or spectral resolution) shall be type tested at relative humidity of 30 %, 80 % and 95 % for 1 h. Changes shall be no greater than $\pm 5\%$.

11.2.2 Test method

The test shall be carried out at a single temperature of 35 °C using a controlled environment chamber. The permitted variation of $\pm 5\%$ in the indication is additional to the permitted variation due to temperature alone.

11.3 Wind resistance requirements and tests

11.3.1 Requirements

The resolution shall not be degraded by more than 10 % for winds up to 9 m·s⁻¹ and no more than 20 % for gust up to 20 m·s⁻¹.

11.3.2 Test method

The mounted assembly shall be tested in normal operational configuration to withstand a steady 9 m·s⁻¹ wind and gusts to 20 m·s⁻¹ without toppling over. If the mount is equipped with tie downs, these shall be installed before the test. The microphonic noise due to wind shall not degrade resolution by more than the required level (see Table 2).

11.4 Temperature cycling of detector

11.4.1 Requirements

Intrinsic HPGe detectors shall withstand temperature cycling within the manufacturer's specifications with no loss of resolution or efficiency. The spectral resolution shall be maintained within the manufacturer's specification.

11.4.2 Test method

Tests of the detector shall consist of cycling the detector from complete warm-up to operating temperature once a day for three days.

11.5 Sealing requirements

Unless stated by the manufacturer most detector assemblies are susceptible to the ingress of water and subsequent damage. This should be considered when testing the assembly.

Portable systems shall be provided with moisture proof carrying/shipping cases. Care should be taken to protect HPGe detector assemblies from moisture ingress either indirectly through condensation or directly from precipitation. Care should be taken to allow ventilation around the electronics and detector capsule.

11.6 External electromagnetic fields

11.6.1 General

Unless special precautions are taken in the design of an assembly, it may become inoperative or give incorrect indications in the presence of external electromagnetic fields, particularly radio-frequency fields.

11.6.2 Requirements

If the indication of an assembly can be influenced by the presence of external electromagnetic fields, a warning to this effect shall be given by the manufacturer and this shall also be included in the instruction manual.

If a manufacturer claims that an assembly is insensitive to electromagnetic fields, the range of frequencies and types of electromagnetic radiation in which the assembly has been tested shall be stated by the manufacturer together with the maximum intensity used.

11.6.3 Test method

Owing to the great range of frequencies and types of electromagnetic radiation that may be encountered, the method of test is not specified in this standard. The method of test shall be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

11.7 External magnetic fields

11.7.1 Requirements

If the indication of an assembly can be influenced by external electromagnetic fields, a warning to this effect shall be given by the manufacturer in the instruction manual.

11.7.2 Test method

The test method shall be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

11.8 Storage and transport

All apparatus designed for use in temperate climates shall be designed to operate within the specifications of this standard after sufficient time has been allowed to reach ambient temperatures following storage (or transport), without batteries, for a period of at least six months in the manufacturer's packaging at any temperature between $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

In certain circumstances, more severe specifications may be required such as capability for withstanding air transport at low ambient pressure.

12 Calibration recommendations

See Annex A.

13 Documentation

13.1 Certificate

A certificate shall accompany each assembly giving at least the following information (see IEC 61187):

- manufacturer's name or registered trade mark;

- contact information for the manufacturer including name, address, telephone number, fax number, email address;
- type of assembly and serial number;
- effective range of measurement;
- response as a function of radiation energy;
- battery life, charging instructions;
- liquid nitrogen capacity (when applicable) together with time between fillings and filling instructions;
- reference point of the assembly for calibration purposes and reference orientation relative to calibration source;
- detector type and characteristics (e.g., size, shape, resolution, efficiency);
- location and dimensions of the sensitive volume;
- detector bias, polarity;
- mass per unit area of the walls surrounding the sensitive volume of the detector (in milligrams per square centimetre) and wall material (that is, e.g., aluminium, stainless steel);
- dimensions and weight of the assembly;
- test results.

13.2 Operation and maintenance manuals

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

- Operating instructions and restrictions
- Module connection schematic
- Electrical connection schematic
- Spare parts list
- Troubleshooting guide
- Description and protocol for communication methods of transmitting and receiving data
- Description of data format for output files.

Each assembly shall be supplied with an appropriate instruction manual in accordance with IEC 61187.

Table 1 – Reference and standard test conditions

Influence quantity	Reference conditions	Standard test conditions	Tolerance limits	Reference (subclause)
RADIATION:				
Background contamination	Negligible	Low background facility	See text	8.4.1
Angular response	Normal incidence	⁶⁰ Co point source, at axial (1), azimuthal (2)	<5 % (1) ± 20 % (2)	8.3.1
Resolution ¹	FWHM at 1 333 keV	⁶⁰ Co point source at 25 cm, normal incidence	≤2 keV	8.4.1
ELECTRICAL:				
Statistical fluctuations	Nominal voltage, frequency	Nominal ± 1 %	<5 %	9.1.1
Battery life	8 h continuous	Continuous use	<5 %	9.3.1
Power supply	Nominal voltage, frequency	Nominal –12 %, +10 %	<3 % <0,1 % (gain)	9.4.1
Warm-up time	<5 min	<5 min	<10 %	9.2.1
MECHANICAL:				
Vibration	Normal use	See Table 3	See Table 3	10.1.1
Shocks	Shipping	See Table 3	See Table 3	10.1.1
Vibration survival	Shipping	See Table 4	See Table 4	10.1.1
Vibration resistance	Normal use	See Table 5	See Table 5	10.1.1
ENVIRONMENTAL:				
Temperature	20 °C	–10 °C to 40 °C	<0,01 %/°C gain zero <5 % on indication	11.1.1
Humidity	RH 65 % at 35 °C	10 % to 95 %	<5 %	11.2.1
Wind	9 m·s ^{–1} Gusts tp 20 m·s ^{–1}	Tripod mounted	< 5 m·s ^{–1}	11.3
Water	Dry	Rain	<5 %	11.6
Cooling	Life 8 h to 10 h	Normal use	----	6.3
Temperature cycling	Daily	Normal use	<5 %	11.4
Electromagnetic and magnetic fields	Earth's field	If required	<5 %	11.8.1
NOTE All limits on indication unless otherwise stated.				
¹ For thin crystal detectors, ¹³⁷ Cs may be substituted.				

Table 2 – Tests performed with variation of influence quantities

Influence quantity	Range of influence quantity	Limits of indication	Reference (subclause)
RADIATION:			
Gamma-ray energy	60 keV to 300 keV 0,3 MeV to 2,5 MeV	$\pm 10 \%$ $\pm 5 \%$	8.1
Angle of incidence (see Figure 1)	$\theta = 0^\circ$ to 90° $\psi = 0^\circ$ to 360°	$\leq 20 \%$ $< 5 \%$	8.2
ELECTRICAL:			
Battery voltage	80 % to 110 % nominal over 8 h continued use	$< 10 \%$	9.3.1
MECHANICAL:			
Vibration frequency	See Tables 4 and 5		
ENVIRONMENTAL:			
Temperature	$-10\text{ }^\circ\text{C}$ to $+40\text{ }^\circ\text{C}$	$< 50\text{ mV r.m.s. noise}$ $< 1 \%$ clock $< 10 \%$ indication $< 0,1 \%$ gain or zero	11.1.1
Relative humidity	10 % to 95 %	$< 5 \%$	11.2.1
Wind	$0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to $9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ $9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to $120\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ gusts	$< 10 \%$ loss in resolution $< 20 \%$ loss in resolution	11.3
Cooling	0 h to 12 h	$> 8\text{ h}$	6.3
Temperature cycling	Daily for 3 days	No effect	11.4

Table 3 – Mechanical performance under test conditions

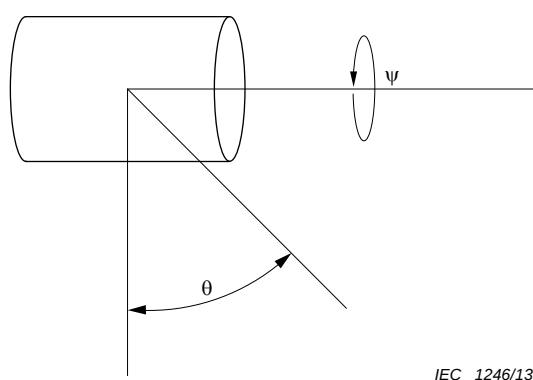
Test conditions	Influence quantity	Value of influence quantity
Operating conditions	Vibration	
	– Frequency, Hz	10 to 70
	– Maximum acceleration, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	40
Transport	– Test duration, h	1
	Shocks per minute	10 to 50
	– Maximum acceleration, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	150
	– Pulse duration, ms	6 to 12,5
	– Total number of shocks	2 000
	Vibration	
	– Frequency, Hz	10 to 70
Shipping	– Maximum acceleration, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	30
	– Test duration, h	1
	Shocks per minute	80 to 120
	– Maximum acceleration, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	250
	– Pulse duration, ms	6 to 20
	– Total number of shocks	2 000
	Vibration	
	– Frequency, Hz	10 to 70
	– Maximum acceleration, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	40
	– Test duration, h	1
NOTE Portable systems shall be tested in carrying cases as well as in normal use configuration.		

Table 4 – Tests for vibrating survival capability at various fixed frequencies

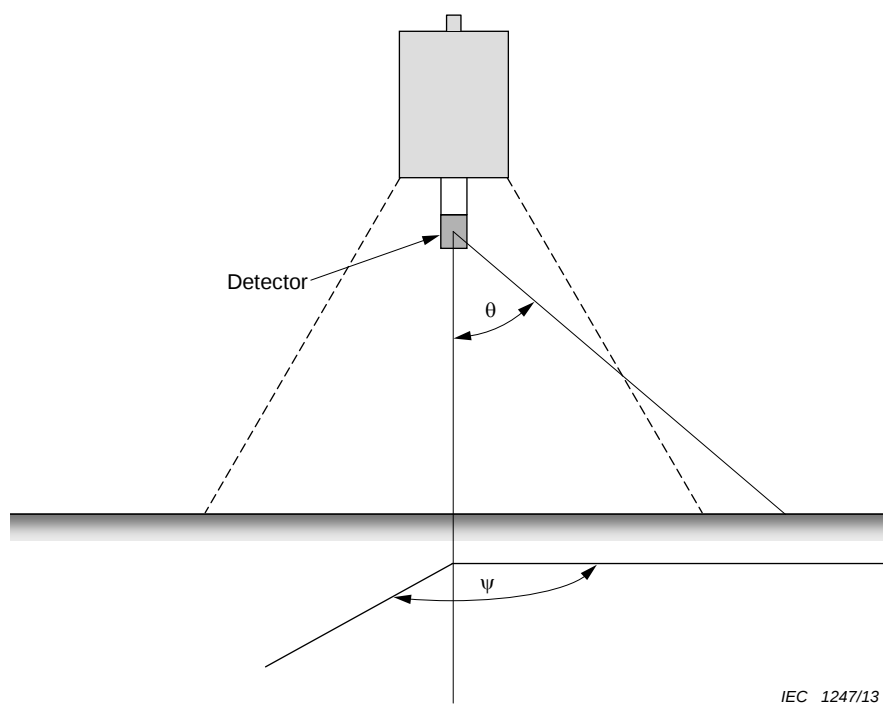
Frequency subrange Hz	Test conditions	
	Acceleration $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	Amplitude mm
18	–	0,5 to 0,7
24	–	0,5 to 0,7
36	–	0,3 to 0,5
48	–	0,3 to 0,5

Table 5 – Tests for vibration resistance at smoothly varying frequencies

	Test conditions	
Frequency subrange Hz	Acceleration m·s ⁻²	Amplitude mm
10 to 20	—	0,7
20 to 30	—	0,5
30 to 40	—	0,5
40 to 50	—	0,3
50 to 60	—	0,3
60 to 70	40	—



a) Calibration and test



b) In the field

Figure 1 – Angular distribution of incident fluence

Annex A (informative)

Calibration

A.1 Recommendations

There are broadly two accepted approaches to the calibration of in-situ detectors:

- a) One very efficient approach is to derive analytical solutions to photon transport equations [1-4]. This forms the focus of ICRU 53 [5] and should be referred to in detail.
- b) The alternative approach is to derive empirical calibrations through comparison with ground reference points. Where variations in lateral activity distribution is suspected within the field of view of an in-situ detector, then the accuracy of calibration may be affected by random and systematic uncertainties introduced by the environmental heterogeneity [6]. It is important that structured sampling plans are used to derive a reference soil. For example, it is not unusual for the coefficient of variation of ^{137}Cs Chernobyl fallout to exceed 30 %, and thus sufficient samples should be taken to provide the necessary precision on the calibration estimate. These circumstances tend to favour structured sampling plans [7]. See also IEC 62438 [8].

A.2 Reference documents

- [1] Beck, H.L., J. Decampo & C. Gogolak. *In situ* Ge(Li) and NaI(Tl) Gamma-Ray Spectrometry. HASL-258. United States Atomic Energy Commission – Health and Safety (TID-4500). 75pp. 1972.
- [2] Anspaugh, L.R., Phelps, P.L. and Huckabay, G.W. *IV Methods for the in-situ Measurement of Radionuclides in Soil*. Pico-Medical Division, Lawrence Livermore Lab. University of California, Livermore, California, 94550. 1972.
- [3] Helfer, I.K. and Miller, K.M. Calibration factors for the Ge Detectors used for Field Spectrometry. *Health Physics*. 55(1): 15-29. 1988.
- [4] Sowa, W., Martini, E., Gehrike, K., Marshner, P., Naziry, M.J. Uncertainty of in-situ gamma spectrometry for environmental monitoring. *Radiation Protection Dosimetry*. 27(2): 93-101. 1989.
- [5] ICRU. *In-Situ Gamma-ray Spectrometry in the Environment*. Report by the International Committee for Radiological Units, No. 53. 1994.
- [6] Tyler, A.N. *Situ and airborne gamma-ray spectrometry*. In: *Analysis of Environmental Radionuclides*, Edited by P. P. Povinec. Elsevier: Radioactivity in the Environment, Volume 11. 532pp. 2007.
- [7] Tyler, A.N., Sanderson, D.C.W., Scott, E.M., Allyson, J.D. Investigations of Spatial Variability and Fields of View in Environmental Gamma Ray Spectrometry. *J. Environ. Radioactivity*. 33(3): 213-235. 1996.
- [8] IEC 62438:2010, *Radiation Protection Instrumentation – Mobile instrumentation for the measurement of photon and neutron radiation in the environment*

Annex B (informative)

Estimation of detector response from detector size, shape and relative efficiency

B.1 Estimation

The count rate in a total absorption peak corresponding to a particular incident photon energy per unit fluence normally incident on the face of the detector has been shown to have a close fit with the following relationship [1]:

$$\ln (N_o/\phi) = a - b \ln E$$

where

- E is the energy of the photons in MeV;
- N_o/ϕ is the fluence rate of incident photons, expressed in counts per minute per photon $\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;
- a and b are detector dependent. As a good approximation, a and b can be estimated from the detector relative efficiency ε as follows:

$$a = 2,689 + 0,4996 \ln \varepsilon + 0,0969 (\ln \varepsilon)^2$$

$$b = 1,315 - 0,02044 \varepsilon + 0,00012 \varepsilon^2$$

where ε is expressed as a decimal.

These formulas can thus be used to estimate the energy response of the system without the need for calibration sources spanning the energy range of interest.

B.2 Reference document

- [1] Helfer I. and Miller K., Calibration Factors for Germanium Detectors Used for Field Spectrometry, HEALTH PHYSICS **55**(1): 15-29. 1988.

Annex C (informative)

Data interpretation and use

C.1 Recommendations

If one wishes to quantitatively estimate the activity concentration on or in the soil, the detector should be placed at a height of about 1 m above the ground with the axis being perpendicular to the ground surface and a gamma-ray spectrum accumulated for a fixed period of time. The fluence of gamma-rays detected can be related to the inventory provided the depth distribution of the source is known or can be inferred. Published conversion factors relating primary photon fluences in air for exponentially distributed sources in the ground are published [1,2] and examples are presented in Table C.1. These are independent of the detector. The response of the detector as a function of incident fluence, energy and angle of incidence can be determined precisely by calibration or estimated from the detector size and shape (see Annexes A and B). The user may measure the detector energy response by measuring the spectrum from a mixed standard or a source with gamma-ray lines spanning a large energy range (for example ^{226}Ra or ^{152}Eu). The user may thus derive calibration factors per unit inventory of specific radionuclides in the soil from the given response to normally incident fluence, the energy response and estimated depth profile. Approximate calibration factors for selected nuclides as a function of detector efficiency are given in Annex D. Similar calibration factors may be derived for semi-infinite cloud distributions in the air [3].

Sampling times can be adjusted for the required detection limit based on source activity, detector size and count rate. The resolution of the assembly should be checked frequently, and certainly prior to use. For periods of heavy usage, the assembly should be checked more frequently, i.e., daily.

The most important parameter in precisely determining soil activity is the source depth distribution (see Table C.1). While the actual depth profile can vary significantly from site to site depending on the deposition scenario and site characteristics, often the approximate depth distribution can be inferred from a knowledge of the contamination scenario. For example, fresh fallout is generally distributed close to the soil surface, i.e., a uniform infinite area plane source, while natural emitters are generally distributed uniformly in the soil. Often, even when the depth profile is not known, *in situ* spectrometry can be used effectively in combination with soil sample analysis to rapidly obtain preliminary crude estimates of activity levels, to determine best where to sample soil, to identify the nuclides present and to vastly extend the area that can be rapidly surveyed. In turn, relatively few soil analyses can adequately determine the depth distribution or range of depth distributions present, thus allowing more accurate quantitative analyses using the *in situ* data and therefore a wider application of the *in situ* technique, and a corresponding reduction in the number of soil samples required.

Significant developments have been made to derive *in situ* calibration correction methods independent of the need to collect cores to characterize the depth distribution. Three main approaches to this problem have been pursued:

- a) the differential attenuation of gamma-ray emission lines, or two line method [4,5];
- b) the forward scattering or peak to valley method [6-8]; and
- c) the use of lead collimators [9,10] or lead shielding at various distances in front of the detector [11] coupled with repeat *in situ* measurements to reconstruct depth distributions. These methods are summarised in [12].

Estimates of the exposure rate contribution from a particular radionuclide distributed in the soil are much less sensitive to the actual depth distribution. Exposure rate estimates for each

detected radionuclide can be made to better than 25 % accuracy with only a crude estimate of the depth distribution (i.e., freshly deposited surface activity versus deeply distributed aged contamination). Conversion factors to exposure rates are summarized in [1,2].

When used properly, *in situ* spectrometry can allow one to rapidly survey large areas and obtain reasonable quantitative inventory estimates almost immediately as opposed to many hours or days required to process and count samples in the laboratory. An additional advantage over soil sampling is the fact that the *in situ* spectrometer sees a large area (around 10 m in radius depending on photon energy and depth distribution) and integrates the fluence from this entire area, while many individual soil samples might be required to obtain a comparable representative sample reflecting the true inventory at the site.

Table C.1 – Primary photon fluence in air at a height of 1 m above the ground per unit source photon per unit area of exponentially distributed sources in the ground [1]

Source energy keV	β Relaxation mass per unit area (g cm^{-2})						
	50	20	10	5	2	0,2	0 (plane)
50	0,0270	0,0647	0,121	0,215	0,415	1,13	1,69
100	0,0519	0,191	0,212	0,351	0,603	1,30	1,72
150	0,0622	0,141	0,247	0,401	0,669	1,37	1,77
200	0,0691	0,155	0,269	0,433	0,710	1,41	1,82
300	0,0805	0,178	0,304	0,480	0,768	1,49	1,90
500	0,0975	0,213	0,356	0,551	0,858	1,60	2,01
662	0,109	0,234	0,389	0,589	0,904	1,65	2,05
1 000	0,130	0,273	0,443	0,660	0,989	1,74	2,15
1 461	0,154	0,318	0,500	0,730	1,07	1,83	2,24
2 000	0,177	0,357	0,555	0,794	1,14	1,91	2,32
3 000	0,211	0,414	0,628	0,881	1,24	2,02	2,42

NOTE $\gamma \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ at 1 m per unit source strength in the soil where the activity Am at any given mass per unit area (ζ) (field moist density $\text{g cm}^{-3} \times \text{depth cm}$) below the soil surface is assumed to decrease with depth as $\exp(-\zeta/\beta) \times Am,0$ where β is the relaxation mass per unit area (g cm^{-2}) and $Am,0$ is the activity per unit mass at the surface of the soil (Bq kg^{-1}).

C.2 Reference documents

- [1] ICRU In-Situ Gamma-ray Spectrometry in the Environment. Report by the International Committee for Radiological Units, No. 53. 84pp
- [2] M. Lemerrier et al. Specific Activity to $H^*(10)$ conversion coefficients for in situ gamma spectrometry. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 128, pp.83-89, 2008
- [3] Gogolak C.V., *Rapid Determination of Noble Gas Radionuclide Concentrations in Power Reactor Plumes*, HEALTH PHYSICS 46, 783-792, 1984
- [4] Rybacek, K., Jacob, P. & Macklach, R. In Situ Determination of Deposition Radionuclide Activities: Improvement of the Method by Deriving Depth Distributions from the measured Photon Spectra. Health Physics 62, 519-528, 1991
- [5] Miller, K.M., Shebell, P., Klemic, G.A., 1994. In situ gamma ray spectrometry for the measurement of uranium in surface soils. Health Physics. 67(2), 140-150. 1994
- [6] Zombori, P., Andrrasi, A., Nemeth, I. *In situ* Gamma Spectrometric Measurements of the Contamination in Some Selected Settlements of Byelorussia (BSSR), Ukraine (UkrSSR) and the Russian Federation (RSFSR). Journal of Environmental Radioactivity. 17 97-106. 1992

- [7] Tyler, A.N., 1999. Monitoring Anthropogenic Radioactivity in Salt Marsh Environments through *in situ* gamma ray spectrometry J. Environ. Radioactivity. 45(3): 235-252. 1999
- [8] Tyler, A.N., D.A. Davidson, & I.C. Grieve. *In Situ* Radiometric Mapping of Soil Erosion and Field-Moist Bulk Density on Cultivated Fields. Soil Use and Management. 17: 88-96. 2001
- [9] Benke, R.R. and Kearfoot, K.J. Demonstration of a collimated *in situ* method for determining depth distributions using gamma ray spectrometry. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 483. 814-831. 2002
- [10] Fülöp, M. and Ragan, P. *In Situ* measurements of ¹³⁷Cs in soil by unfolding method. Health Physics 72(6), 923-930. 1997
- [11] Korun, M., Likar, A., Lipoglavsek, M., Martincic, R., Pucelj, B. *In situ* measurement of Cs Distribution in Soil. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 93(4), 485-491. 1994
- [12] Tyler, A.N. *In Situ* and airborne gamma-ray spectrometry. In: *Analysis of Environmental Radionuclides*, Edited by P. P. Povinec. Elsevier: Radioactivity in the Environment, Volume 11. 532pp. 2007

Annex D (informative)

Expected total-absorption-peak count rates per unit deposition for selected freshly deposited radionuclides

D.1 Recommendations

The fluence per unit soil activity/inventory ratios given in Annex A may be multiplied by the estimated peak count rates per unit fluence calculated in Annex B and by published data on gamma-ray emissions for particular nuclides to obtain calibration factors relating absorption peak counts to soil activity/inventory for a given nuclide depth profile.

A correction for non-isotropic angular response of the detector shall also be made, however the required correction factor is small and close to 1,0 for downward-looking detectors with length/diameter ratios close to 1,0. More exact angular correction factors can also be estimated from the specified detector dimensions or measured exactly (see Clause B.2). Table D.1 gives the approximate absorption peak count rates per unit soil inventory for selected freshly deposited radionuclides (only slight penetration into the soil, i.e., relaxation length $\alpha = 6,25 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ (where α is ρ/β , and ρ is density g cm^{-3}) as a function of the detector relative efficiency, assuming an angular correction factor of 1,0).

Table D.1 – Total absorption peak count rate per minute per $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-2}$ [1]

Nuclide	Energy keV	Detector relative efficiency %								
		5	10	15	20	25	30	35	40	45
⁶⁰ Co	1 173	0,11	0,20	0,30	0,42	0,55	0,68	0,82	0,97	1,13
	1 333	0,10	0,18	0,28	0,38	0,50	0,63	0,77	0,92	1,07
⁹⁵ Zr	724	0,08	0,14	0,20	0,27	0,33	0,40	0,47	0,53	0,62
	757	0,10	0,17	0,25	0,33	0,40	0,50	0,58	0,67	0,77
⁹⁵ Nb	765	0,17	0,30	0,45	0,58	0,73	0,90	1,05	1,22	1,38
¹⁰³ Ru	497	0,23	0,40	0,57	0,73	0,88	1,03	1,18	1,33	1,50
¹³¹ I	365	0,30	0,52	0,70	0,88	1,03	1,20	1,35	1,48	1,63
¹³² I	669	0,20	0,37	0,52	0,68	0,85	1,02	1,18	1,37	1,53
¹³⁴ Cs	605	0,22	0,38	0,53	0,70	0,87	1,02	1,18	1,35	1,52
	798	0,14	0,25	0,37	0,50	0,62	0,77	0,88	1,02	1,17
¹³⁷ Cs	662	0,17	0,30	0,43	0,57	0,70	0,85	0,98	1,13	1,28
¹⁴⁰ Ba	537	0,06	0,10	0,15	0,20	0,23	0,28	0,32	0,37	0,40
¹⁴⁰ La	487	0,13	0,23	0,32	0,40	0,48	0,57	0,65	0,73	0,82
	1 596	0,08	0,14	0,23	0,32	0,42	0,53	0,65	0,78	0,93
		0,11	0,20	0,30	0,42	0,55	0,68	0,82	0,97	1,13

D.2 Reference documents

- [1] Helfer, I.K. and Miller, K.M. *Calibration factors for the Ge Detectors used for Field Spectrometry*. Health Physics. 55(1): 15-29. 1988

Annex E (informative)

Relative intrinsic uncertainty

E.1 Recommendations

Under standard test conditions the relative intrinsic uncertainty in the indication of the assembly, when exposed to a reference soil in the field of known source distribution, would normally not exceed 20 % over the whole of the effective range of measurement for the photon reference radiations chosen. See Annex A.

E.2 Test method

- a) Test radiation: the conventionally true activity concentration of the reference soil shall be known with an uncertainty of less than 10 % for this test.
- b) Tests to be performed: a type test shall be performed on at least one assembly of the series.
- c) Method of interpretation of observations: in considering whether the recommendation is met, it is necessary to make allowances for the uncertainty in the values of the conventionally true values employed in the tests. If no single observed value of indication exceeds ± 30 %, then the measurements are considered satisfactory.

Note that this test requires the soil concentration and depth distribution to be known from previous measurements or soil sample analyses. See Annex A.

Bibliography

IEC 60050-393:2003, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 393: Nuclear instrumentation: Physical phenomena and basic concepts*

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

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

IEC 60068-2-1:2007, *Environmental testing – Part 2-1: Tests – Test A: Cold*

IEC 60068-2-2:2007, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Test B: Dry heat*

IEC 60068-2-6:2007, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-7:1983, *Basic environmental testing procedures – Part 2-7: Tests – Test Ga and guidance: Acceleration, steady state*

IEC 60068-2-14:2009, *Environmental testing – Part 2-14: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-17:1994, *Basic environmental testing procedures – Part 2-17: Tests – Test Q: Sealing*

IEC 60068-2-18:2000, *Environmental testing – Part 2-18: Tests – Test R and guidance: Water*

IEC 60068-2-38:2009, *Environmental testing – Part 2-38: Tests – Test Z/AD: Composite temperature/humidity cyclic test*

IEC 60068-2-39:1976, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test Z/AMD: Combined sequential cold, low air pressure, and damp heat test*

IEC 60973:1989, *Test procedures for germanium gamma-ray detectors*

IEC 61145:1992, *Calibration and usage of ionization chamber systems for assay of radionuclides*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	37
1 Domaine d'application et objet	39
2 Références normatives	39
3 Termes et définitions	40
3.1 Définitions	40
3.2 Nomenclature des essais	42
4 Exigences générales	42
4.1 Composants de base	42
4.2 Exemples de types de détecteur	43
5 Classification des caractéristiques de fonctionnement	43
6 Caractéristiques générales	44
6.1 Indications	44
6.2 Etendue effective de mesure de l'appareil	44
6.3 Refroidissement du détecteur	44
6.4 Type de détecteur	44
6.5 Enveloppe du détecteur	44
6.6 Fenêtre du détecteur	44
6.7 Facilité de décontamination	45
6.8 Considérations relatives à la sécurité	45
6.9 Etalonnage	45
7 Procédures générales d'essais	45
7.1 Nature des essais	45
7.2 Conditions de référence et conditions normales d'essais	45
7.3 Position de l'appareil pour les essais	45
7.4 Fluctuations statistiques	45
7.5 Mesures de faible niveau	45
7.6 Rayonnement de référence	46
8 Essais de rayonnement	46
8.1 Variation de la réponse en fonction de l'énergie du rayonnement photonique	46
8.1.1 Exigences	46
8.1.2 Méthode d'essai	46
8.2 Variation de la réponse avec l'angle d'incidence	46
8.2.1 Exigences	46
8.2.2 Méthodes d'essai	46
8.3 Résolution	47
8.3.1 Exigences	47
8.3.2 Méthodes d'essai	47
8.4 Bruit de fond dû à la contamination de l'ensemble de mesure	47
8.4.1 Exigences	47
8.4.2 Méthode d'essai	47
9 Caractéristiques de l'ensemble	47
9.1 Fluctuations statistiques	47
9.1.1 Exigences	47
9.1.2 Méthode d'essai	47
9.2 Temps de préchauffage	48

9.2.1	Exigences.....	48
9.2.2	Méthode d'essai.....	48
9.3	Alimentation électrique – Fonctionnement sur batterie.....	48
9.3.1	Exigences – batteries.....	48
9.3.2	Méthode d'essai.....	48
9.4	Alimentation électrique par le secteur.....	48
9.4.1	Exigences.....	48
9.4.2	Méthode d'essai.....	48
10	Caractéristiques mécaniques	49
10.1	Dommages dûs aux vibrations et aux chocs pendant le transport et le chargement	49
10.1.1	Exigences.....	49
10.1.2	Essais relatifs aux dommages dus aux vibrations	49
10.1.3	Essais de résistance aux vibrations.....	49
10.1.4	Essais de choc	50
10.1.5	Essais de résistance mécanique	50
11	Exigences environnementales et essais	51
11.1	Exigences et essais aux températures extrêmes	51
11.1.1	Exigences.....	51
11.1.2	Méthode d'essai.....	51
11.2	Influence de l'humidité relative (HR).....	51
11.2.1	Exigences.....	51
11.2.2	Méthode d'essai.....	52
11.3	Exigences de résistance au vent et essais	52
11.3.1	Exigences.....	52
11.3.2	Méthode d'essai.....	52
11.4	Résistance du détecteur aux cycles thermiques	52
11.4.1	Exigences.....	52
11.4.2	Méthode d'essai.....	52
11.5	Exigences d'étanchéité des matériels.....	52
11.6	Champs électromagnétiques externes.....	52
11.6.1	Généralités	52
11.6.2	Exigences.....	53
11.6.3	Méthode d'essai.....	53
11.7	Champs magnétiques externes	53
11.7.1	Exigences.....	53
11.7.2	Méthode d'essai.....	53
11.8	Stockage et transport.....	53
12	Recommandations relatives à l'étalonnage.....	53
13	Documentation	53
13.1	Certificat.....	53
13.2	Manuels de fonctionnement et d'entretien	54
Annexe A (informative)	Etalonnage.....	59
Annexe B (informative)	Estimation de la réponse du détecteur en fonction de sa taille, de sa forme et de son efficacité relative	60
Annexe C (informative)	Utilisation et interprétation des données	61
Annexe D (informative)	Taux de comptage attendus dans le pic d'absorption totale par unité d'activité de dépôt pour des radionucléides déterminés récemment déposés	64

Annexe E (informative) Incertitude relative intrinsèque.....	66
Bibliographie	67
Figure 1 – Distribution angulaire de la fluence incidente.....	58
Tableau 1 – Conditions de référence et conditions normalisées d'essai.....	55
Tableau 2 – Essais effectués avec variation des grandeurs d'influence	56
Tableau 3 – Performances mécaniques dans les conditions d'essai	57
Tableau 4 – Essais de capacité de survie à différentes fréquences fixes de vibration	57
Tableau 5 – Essais de résistance aux vibrations à des fréquences variant lentement	57
Tableau C.1 – Fluence photonique primaire dans l'air à une hauteur de 1 m au-dessus du niveau du sol par unité de photon source par unité surfacique des sources distribuées de façon exponentielle dans le sol	62
Tableau D.1 – Taux de comptage dans le pic d'absorption totale par minute en impulsions kBq m ⁻²	64

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION –
MESURE DE RADIONUCLÉIDES DISCRETS PRÉSENTS DANS
L'ENVIRONNEMENT – SYSTÈME DE SPECTROMÉTRIE
GAMMA *IN SITU* UTILISANT UN DÉTECTEUR AU GERMANIUM****AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 CEI 61275 a été établie par le sous-comité 45B: Instrumentation pour la radioprotection, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, parue en 1997, dont elle constitue une révision technique.

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

- mise à jour de la terminologie intégrant les dernières technologies,

- révision des méthodes d'essai afin de tenir compte des développements méthodologiques et des critères de performance associés aux technologies les plus récentes de détecteur au germanium de haute pureté (HPGe) et d'électronique numérique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45B/762/FDIS	45B/769/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/CEI, 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 la CEI 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.

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – MESURE DE RADIONUCLÉIDES DISCRETS PRÉSENTS DANS L'ENVIRONNEMENT – SYSTÈME DE SPECTROMÉTRIE GAMMA *IN SITU* UTILISANT UN DÉTECTEUR AU GERMANIUM

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale est applicable à un ensemble portable ou transportable de spectrométrie gamma utilisant un détecteur au germanium de haute pureté (HPGe) pour faire un relevé, *in situ*, généralement à 1 m au-dessus du niveau du sol, des radionucléides discrets déposés dans l'environnement. Un tel équipement est utilisé pour faire une évaluation rapide des niveaux d'activité des radionucléides émetteurs gamma et des débits correspondants d'exposition à l'air libre. De telles mesures peuvent être utilisées pour orienter des actions ultérieures, incluant, par exemple, des évaluations radiologiques, des programmes d'échantillonnages et de mesures. (La présente norme ne s'applique pas aux systèmes de mesure mobiles, qui sont couverts par une autre norme. Voir la CEI 62438.)

La présente norme spécifie pour un tel ensemble les caractéristiques générales et les méthodes d'essais pour l'évaluation des caractéristiques radiologiques, des caractéristiques électriques, mécaniques, de sécurité et d'environnement spécifiques aux applications décrites ci-dessus. Des recommandations sont également données en annexes pour étalonner, utiliser correctement le système et interpréter les mesures *in situ*.

Un système de spectrométrie *in situ* est un ensemble d'instruments ou d'ensembles conçus pour mesurer, *in situ*, la fluence des rayonnements gamma frappant le détecteur, dans le but de déterminer rapidement, *in situ*, les radionucléides discrets présents dans le sol ou dans l'air, qu'ils soient naturels ou artificiels.

Le but de la présente norme est de spécifier les caractéristiques de fonctionnement du système en vue de déterminer l'activité surfacique du sol.

En conséquence, cette norme spécifie:

- a) les fonctions et les caractéristiques de fonctionnement des ensembles de mesure, et
- b) les méthodes d'essais qui sont utilisées pour déterminer la conformité aux exigences de la présente norme.

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).

CEI 60068 (toutes les parties), *Essais d'environnement*

CEI 61010-1, *Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire – Partie 1: Exigences générales*

CEI 61187:1993, *Équipement de mesures électriques et électroniques – Documentation*

CEI 62438:2010, *Instrumentation pour la radioprotection – Instrumentation mobile pour la mesure des rayonnements gamma et neutroniques dans l'environnement*

ISO 4037 (toutes les parties), *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*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

NOTE La terminologie générale concernant la détection et la mesure des rayonnements ionisants, l'instrumentation nucléaire et les détecteurs au germanium se trouve dans la CEI 60050-393, la CEI 60050-394 et la CEI 60973.

3.1 Définitions

3.1.1

réponse angulaire

variation de la réponse à un radionucléide donné au cours de son déplacement selon un rayon fixe par rapport à l'ensemble sur un angle **thêta** par rapport à la normale (généralement $\theta = 0^\circ$; voir Figure 1).

Note 1 à l'article: Pour les détecteurs cylindriques, il est seulement nécessaire d'effectuer cette opération dans un seul plan.

3.1.2

coefficient de variation

quotient V de l'écart-type s à la moyenne arithmétique $\bar{x}$ d'un ensemble de n mesures de x_i , donné par la formule suivante:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

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

3.1.3

collimation

écran utilisé pour réduire systématiquement la réponse angulaire et ainsi le champ de vision d'un détecteur

3.1.4

seuil de détection

limite inférieure de détection

valeur de l'indication de mesure pour laquelle l'incertitude aléatoire relative est égale à $\pm 100 \%$ au niveau de probabilité de 95 %

[SOURCE: CEI 60050-394:2007, 394-40-20]

3.1.5

étendue effective de la mesure

domaine de mesure de la grandeur à l'intérieur duquel les performances de l'appareil satisfont aux exigences de la présente norme

3.1.6

fonction d'étalonnage en énergie

fonction nécessaire pour convertir un numéro de canal en énergie de rayonnement gamma (keV)

3.1.7**résolution en énergie**

gamme en kiloélectronvolts pour laquelle la réponse est supérieure à 50 % (Largeur Totale à Mi-Hauteur – LTMH) au niveau d'un pic d'énergie défini

3.1.8**champ de vision**

surface et volume de sol «visualisés» par le détecteur (taille effective de l'échantillon), généralement défini comme la distance radiale à partir de laquelle 90 % de la fluence du rayonnement gamma incidente totale est dérivée

3.1.9**bruit de fond interne**

taux de comptage (comptage par unité de temps) dû aux rayonnements gamma émis par les radionucléides intrinsèquement présents dans l'ensemble de détection

3.1.10**détecteur de type N**

détecteur au germanium de haute qualité (HPGe) dont la surface d'implantation ionique ou la surface de rectification est la surface P+ qui est généralement la surface extérieure d'un cristal de détecteur

3.1.11**détecteur de type P**

détecteur au germanium de haute qualité (HPGe) dont la surface d'implantation ionique ou la surface de rectification est la surface N+ qui est généralement la surface extérieure d'un cristal de détecteur

3.1.12**ensemble portable**

ensemble qui peut être transporté par une ou deux personnes et avec lequel des mesures à l'extérieur peuvent être réalisées, soit à l'arrêt, soit en mouvement. L'ensemble fonctionne entièrement sur batterie

3.1.13**efficacité relative**

rapport, exprimé en pourcentage, du taux de comptage dans le pic d'absorption totale du cobalt 60 à 1 333 keV au taux correspondant obtenu avec un scintillateur NaI(Tl) de 76 mm × 76 mm pour une incidence normale, placé à 25 cm de la source

3.1.14**incertitude relative d'indication**

l'incertitude relative d'indication, I , d'un appareil est donnée en pourcentage par la relation suivante:

$$I = \frac{(H_i - H_t)}{H_t} \times 100 \%$$

où

H_i est la valeur indiquée et H_t est la valeur conventionnellement vraie.

3.1.15**point de référence d'un ensemble**

un ou des repères gravés sur l'ensemble qui sont utilisés pour positionner celui-ci en un point où la valeur conventionnellement vraie de la grandeur à mesurer est connue. Généralement, ce point est choisi de manière à être situé sur la face avant du détecteur au germanium, mais il dépend de la forme exacte de l'ensemble de détection.

3.1.16

sol de référence

surface de sol d'un diamètre supérieur à 10 m dont la teneur en radionucléides particuliers a été bien caractérisée tant en termes d'activité massique (Bq/kg) que de distribution en profondeur

3.1.17

réponse

la réponse, R , d'un ensemble est le rapport de la valeur indiquée H_i par l'ensemble soumis à une fluence incidente de photons d'énergie donnée, calculée à partir de l'aire du pic d'énergie totale à la valeur conventionnellement vraie H_t de la fluence incidente. On peut également en déduire l'efficacité moyenne.

3.1.18

ensemble transportable

ensemble qui peut être installé à bord d'un véhicule et qui est relié au détecteur au moyen d'un long câble. L'ensemble utilise généralement une source de courant externe et ne peut pas être transporté facilement par une seule personne.

3.2 Nomenclature des essais

3.2.1

essai de qualification

essai dont le but est de vérifier que les exigences d'une spécification sont respectées. Les essais de qualification sont subdivisés en essais de type et en essais individuels de série.

3.2.2

essai de type

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

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

3.2.3

essai individuel de série

essai de conformité effectué sur chaque entité en cours ou en fin de fabrication

[SOURCE: CEI 60050-394:2007, 394-40-03]

3.2.4

essai de réception

essai contractuel destiné à prouver au client que le dispositif satisfait aux conditions de spécifications

[SOURCE: CEI 60050-394:2007, 394-40-05]

4 Exigences générales

4.1 Composants de base

Un ensemble complet de spectrométrie gamma *in situ* est constitué par divers sous-ensembles ou instruments. Les composants individuels ne sont généralement pas spécifiques, aussi peuvent-ils être utilisés en routine à d'autres fins et avec d'autres systèmes de mesure du rayonnement gamma de campagne ou de laboratoire. Leur utilisation à l'extérieur *in situ* comme parties d'un ensemble intégré portable ou transportable nécessite des qualifications d'environnement et des qualifications mécaniques sévères, ainsi que des exigences électriques, mécaniques et de sécurité particulières qui ne sont généralement pas requises pour l'utilisation de routine en laboratoire. Tous les composants individuels tels que

préamplificateur, amplificateur de qualité spectrométrique, alimentation, système d'acquisition ou de stockage de données doivent satisfaire à toutes les normes CEI qui sont applicables à leur fabrication et à leur utilisation, ainsi qu'aux exigences spécifiques de la présente norme. Leur emploi dans un ensemble utilisé *in situ* exige également des étalonnages spécifiques et un soin particulier lors de l'interprétation des résultats. L'ensemble est constitué généralement des composants suivants:

- a) un détecteur gamma, détecteur de type N ou de type P au germanium de haute qualité (HPGe) (le détecteur inclut un cryostat intégral et un préamplificateur refroidi sensible à la charge électrique);
- b) un amplificateur de qualité spectrométrique et une électronique de puissance haute tension (HT);
- c) un sous-ensemble de traitement de l'information qui comprend les modules d'acquisition des données, de stockage des données et de visualisation; il peut être composé d'un analyseur multicanaux (AMC) avec un minimum de 4 096 canaux, d'un micro-ordinateur équipé d'un système d'analyse multicanaux ou de tout autre dispositif comparable;
- d) une alimentation électrique (voir 9.4);
- e) tous les câbles de connexion nécessaires;
- f) un trépied ou un autre type de support pour installer en plein champ le détecteur à une hauteur déterminée au-dessus du sol, pendant la durée d'acquisition du spectre de rayonnement gamma;
- g) un système de refroidissement du détecteur, qui doit être soit un récipient d'azote liquide (cryostat et dewar), soit un système de refroidissement électromécanique qui maintient le cristal de germanium à une température correcte de fonctionnement;
- h) un support léger, robuste, stable permettant de placer le détecteur à une hauteur déterminée au-dessus du sol doit être fourni. Il convient que la hauteur et l'orientation du support soient reproductibles. Le constructeur doit indiquer l'effet de la position du support sur le champ de vision ainsi que la masse de matériau du support.

4.2 Exemples de types de détecteur

Pour un relevé rapide, dans une zone limitée, des radionucléides discrets présents, il est recommandé d'utiliser un système portable comprenant une sonde à main avec le détecteur au germanium de haute qualité (HPGe) et le refroidisseur, ainsi qu'un ensemble portable de traitement de l'information (généralement un sous-ensemble compact ou un micro-ordinateur équipé d'une carte AMC, d'une alimentation HT et d'un amplificateur de qualité spectrométrique). Pour les applications dans lesquelles il n'est pas essentiel d'avoir un matériel portable, on pourra utiliser un matériel transportable. Les ensembles transportables peuvent, par exemple, être constitués d'un analyseur multicanaux, de modules électroniques et d'alimentation montés sur un véhicule et connectés au moyen d'un câble ombilical à un détecteur au germanium de haute qualité (HPGe) situé à l'extérieur. Dans quelques applications, le détecteur peut même être installé dans le véhicule (voir CEI 62438). Lorsque le relevé nécessite la détection d'une faible énergie de rayonnement gamma, inférieure à 100 keV et pouvant atteindre 3 keV, un détecteur de type N ou un détecteur de type P spécialement adapté, doté d'une fenêtre en béryllium ou en fibre carbone adéquate, peut être plus approprié qu'un détecteur de type P standard sous enveloppe d'aluminium.

5 Classification des caractéristiques de fonctionnement

Les limites de variation de l'indication d'un ensemble sont spécifiées pour chaque caractéristique de fonctionnement dans les Tableaux 1 à 5 et dans les paragraphes appropriés. Pour quelques usages, il peut ne pas être considéré comme essentiel qu'un équipement réponde à toutes les exigences exposées ci-dessous. Dans ces cas, les exigences qui doivent être appliquées aux ensembles peuvent être spécifiées après accord entre le constructeur et l'acheteur, mais la détermination des caractéristiques de ces ensembles doit être faite conformément aux méthodes données dans la présente norme.

Si le poids, les dimensions hors tout et la construction de l'appareil ne permettent pas de pratiquer les essais sur un ensemble complet au moyen des équipements d'essais existants, chaque partie peut être soumise aux essais séparément en conformité avec la présente norme et on procédera ensuite à l'examen complet du système dans son entier, dans les conditions normales d'utilisation. La procédure utilisée pour les essais doit être spécifiée.

6 Caractéristiques générales

6.1 Indications

Les indications de l'ensemble doivent être données en impulsions par canal et en impulsions totales par unité de temps dans les pics d'absorption totale choisis. Il convient que l'ensemble du spectre, généralement à partir de 20 keV jusqu'à 2 700 keV, soit accessible et que l'énergie soit étalonnée de manière à faciliter l'identification des radionucléides. Les indications de l'ensemble doivent aussi être données en unités d'activité par unité de surface ou de masse pour un radionucléide donné (par exemple $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ ou $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) pour un/des profil(s) de distribution en profondeur sélectionnés ou définis après accord entre l'acheteur et le constructeur.

6.2 Etendue effective de mesure de l'appareil

Quand les méthodes d'essai ne couvrent pas toute l'étendue effective de mesure et que certaines des fluctuations observées sont proches des limites autorisées, des essais supplémentaires peuvent être nécessaires afin de démontrer que les exigences en question sont bien respectées sur toute l'étendue effective de mesure. Ces essais supplémentaires doivent faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur. Pour ces ensembles, l'étendue effective de mesure est déterminée au préalable au moyen des caractéristiques de la conversion analogique-digitale (temps mort) et de l'empilement des impulsions dans l'amplificateur, et elle doit être indiquée par le constructeur.

6.3 Refroidissement du détecteur

Il convient que les détecteurs soient maintenus à une température comprise entre 80 K et 100 K et qu'ils puissent fonctionner de façon ininterrompue pendant au moins 8 h. Il convient que les constructeurs spécifient le temps de refroidissement.

6.4 Type de détecteur

Pour optimiser la détection des faibles énergies (par exemple photons de 60 keV de ^{241}Am), il convient de préférer un détecteur au germanium de type N ou de type P spécial modifié à un détecteur de type P.

6.5 Enveloppe du détecteur

L'enveloppe du détecteur doit être conçue pour minimiser l'atténuation du rayonnement gamma ainsi que le bruit de fond intrinsèque. Si nécessaire, pour minimiser encore davantage l'atténuation des rayonnements gamma incidents de faible énergie, une fenêtre d'entrée, généralement en béryllium ou en carbone de moins de $0,3 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ d'épaisseur doit être utilisée. L'épaisseur maximale de la fenêtre d'entrée doit être telle que l'atténuation des rayonnements gamma de 1 333 keV d'incidence axiale ($\theta = 0$) soit inférieure à 2 %.

6.6 Fenêtre du détecteur

Il convient que la fenêtre du détecteur soit conçue afin de réduire au minimum le risque d'endommagement ou de rupture. Si l'on utilise du béryllium (Be), des instructions doivent être fournies afin de garantir la sécurité d'utilisation du béryllium.

6.7 Facilité de décontamination

L'ensemble doit être conçu et construit de manière à en faciliter la décontamination.

6.8 Considérations relatives à la sécurité

Les ensembles doivent répondre aux exigences de sécurité de la CEI 61010-1.

6.9 Etalonnage

Il convient de spécifier les exigences relatives à l'étalonnage par accord entre le constructeur et l'acheteur, mais des recommandations concernant l'étalonnage sont présentées à l'Annexe A.

7 Procédures générales d'essais

7.1 Nature des essais

Sauf spécification contraire dans les articles particuliers, tous les essais énumérés dans la présente norme doivent être considérés comme des essais de type (voir 3.3.1). Certains essais peuvent être considérés comme des essais de réception par accord entre le constructeur et l'acheteur (voir 3.3.1).

7.2 Conditions de référence et conditions normales d'essais

Les conditions de référence sont données dans la deuxième colonne du Tableau 1. Sauf spécification contraire, les essais de la présente norme doivent être réalisés dans les conditions normales d'essais données dans la troisième colonne du Tableau 1.

Lors des essais réalisés en vue de déterminer les effets des variations d'une des grandeurs d'influence données au Tableau 1, toutes les autres grandeurs d'influence doivent être maintenues dans les limites des conditions normales d'essais du Tableau 1, sauf cas contraire spécifié dans la procédure d'essai concernée.

7.3 Position de l'appareil pour les essais

Dans tous les essais incluant l'utilisation de rayonnements, le point de référence de l'ensemble (voir 3.16) doit être placé à l'endroit où la valeur conventionnellement vraie de la grandeur à mesurer est connue et suivant l'orientation de l'appareil indiquée par le constructeur.

7.4 Fluctuations statistiques

Dans tous les essais incluant l'utilisation de rayonnements, si l'amplitude des fluctuations statistiques de l'indication résultant de la nature aléatoire du rayonnement représente une partie importante de la variation de l'indication autorisée durant l'essai, alors des relevés suffisants doivent être faits pour s'assurer que la valeur moyenne de ces relevés peut être estimée avec une précision suffisante pour montrer la conformité avec l'essai en question.

L'intervalle entre ces relevés doit être suffisant pour s'assurer que les relevés sont statistiquement indépendants.

7.5 Mesures de faible niveau

Pour les mesures de matériaux ayant un faible niveau de radioactivité, il est nécessaire de tenir compte de la contribution du bruit de fond dû à l'ensemble de mesure sur l'indication au point d'essai (Annexe E).

7.6 Rayonnement de référence

Sauf spécification particulière à chaque méthode d'essai, tous les essais comportant l'utilisation du rayonnement des rayons gamma doivent être effectués avec le cobalt 60 ou le césium 137 (voir Tableau 1). La nature, la géométrie et les conditions d'utilisation des sources de rayonnement doivent répondre aux recommandations de l'ISO 4037.

8 Essais de rayonnement

8.1 Variation de la réponse en fonction de l'énergie du rayonnement photonique

8.1.1 Exigences

La réponse de l'ensemble dans la direction d'étalonnage, quand il est exposé à des sources ponctuelles de rayonnement photonique d'énergie comprise entre 60 keV et 2 500 keV, ne doit pas différer de la valeur conventionnellement vraie de la fluence des photons de ces sources de plus de:

$\pm 10 \%$ entre 60 keV et 300 keV

$\pm 5 \%$ entre 300 keV et 2 500 keV

8.1.2 Méthode d'essai

L'ensemble doit être exposé à des sources de rayonnement photonique telles que spécifiées par l'ISO 4037, ayant des énergies couvrant la gamme précédente.

8.2 Variation de la réponse avec l'angle d'incidence

8.2.1 Exigences

Pour effectuer un étalonnage sur la base de solutions théoriques (Annexe A), il convient de caractériser la réponse angulaire du détecteur. La réponse varie quand l'angle d'incidence du rayonnement est modifié par rapport à l'orientation de référence (Figure 1a).

Les mesures doivent être faites à une distance d'au moins 1 m du point de référence, pour au moins neuf valeurs de l'angle azimutal (θ) comprises entre 0° et 90° , et trois positions (Ψ) axiales comprises entre 0° et 180° . Un essai de type peut être suffisant pour les détecteurs de même taille, de même forme et d'enveloppe identique.

8.2.2 Méthodes d'essai

L'ensemble doit être exposé à une série d'énergies de rayonnement comprises dans la gamme d'énergies étudiée, par exemple entre 40 keV et 2 500 keV. Pour chaque énergie de rayonnement, le détecteur doit être placé dans la direction de référence spécifiée par le constructeur pour l'étalonnage (généralement $\theta = 0^\circ$, $\Psi = 0^\circ$; voir Figure 1a). L'indication dans cette position doit être relevée. Le détecteur doit ensuite être déplacé par rapport à la source par pas de 10° , pour des angles θ allant de 0° à 90° en gardant Ψ constant. Les indications doivent être relevées. La gamme des angles θ peut être réduite pour les détecteurs collimatés.

Des relevés similaires doivent alors être faits pour $\Psi = 120^\circ$ et $\Psi = 240^\circ$ par rapport à la direction initiale ($\Psi = 0^\circ$).

La variation de l'indication de l'ensemble au rayonnement incident pour tout angle Ψ , et pour θ variant de 0° à 90° , doit être indiquée par le constructeur et doit être utilisée pour étalonner la réponse du détecteur.

8.3 Résolution

8.3.1 Exigences

Les exigences relatives à la résolution spectrale doivent faire l'objet d'un accord entre le client et le constructeur. Les capacités varient en fonction de la taille du cristal mais peuvent être généralement $\leq 1,9$ keV (FWHM) à 1 333 keV pour un détecteur au germanium de haute qualité (HPGe) avec 30 % d'efficacité relative.

8.3.2 Méthodes d'essai

La résolution doit être mesurée par le constructeur pour chaque détecteur avec un ensemble de spectrométrie de rayonnement gamma de laboratoire de haut de gamme, en utilisant une source ponctuelle de cobalt 60 placée à une distance telle de la face avant du détecteur que le temps mort de l'appareillage soit inférieur à 2 %, avec un temps de mesure suffisant pour recueillir 10 000 événements dans le pic photoélectrique. L'utilisateur doit vérifier la résolution avant l'utilisation, en appliquant la même méthode.

8.4 Bruit de fond dû à la contamination de l'ensemble de mesure

8.4.1 Exigences

Le bruit de fond dû à l'activité de l'enveloppe métallique (incluant la radioactivité de la fenêtre d'entrée), du tamis moléculaire et des autres matériaux situés à proximité du détecteur ne doit pas avoir un effet équivalent supérieur à celui de $2,0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ de ^{40}K , ^{232}Th , ou ^{238}U distribués d'une manière homogène dans le sol, lorsque l'un des pics du bruit de fond naturel interfère avec des pics de produits de fission.

8.4.2 Méthode d'essai

Les essais de type des ensembles pris au hasard doivent être effectués pendant un temps suffisant pour vérifier les exigences à plus ou moins deux écarts-type avec un étalonnage en énergie de 1 keV/canal, dans une salle blindée de bas bruit de fond ou toute autre installation de bas bruit de fond. Comme alternative, il est possible que l'activité naturelle de chacun des composants du gainage de la sonde soit mesurée par un laboratoire d'essai reconnu.

9 Caractéristiques de l'ensemble

9.1 Fluctuations statistiques

9.1.1 Exigences

Le coefficient de variation de l'indication dû aux fluctuations statistiques doit être inférieur à 5 %.

9.1.2 Méthode d'essai

Exposer l'ensemble à une source de rayonnement et recueillir 10 000 comptages nets dans le pic d'énergie totale concerné dans un environnement de bruit de fond stable. Stocker un nombre de spectres pendant un intervalle de temps suffisant pour que la valeur moyenne des spectres acquis puisse être estimée avec une précision suffisante pour montrer que l'exigence vérifiée est satisfaite. Trouver la valeur moyenne et le coefficient de variation de la surface d'absorption totale pour tous les spectres obtenus. Le coefficient de variation ainsi déterminé doit être situé dans les limites indiquées en 9.1.1.

9.2 Temps de préchauffage

9.2.1 Exigences

Le constructeur doit préciser le temps nécessaire à l'ensemble, après la mise sous tension, pendant lequel il est exposé au rayonnement de référence, pour donner une indication qui ne diffère pas de plus de 10 % de la valeur finale obtenue dans les conditions normales d'essai. Ce temps ne doit pas dépasser 5 min.

9.2.2 Méthode d'essai

Mettre en route l'ensemble. Attendre durant le temps de préchauffage recommandé. Exposer l'ensemble à une source de rayonnement donnant un taux de comptage correspondant environ à la moitié de l'étendue effective de mesure de l'ensemble. Stocker un spectre pendant un intervalle de temps suffisant pour que la surface du pic d'absorption totale à 1 333 keV puisse être déterminée avec une précision suffisante pour montrer que l'exigence vérifiée est satisfaite. Recommencer l'opération après un fonctionnement de 1 h au moins. La différence entre les indications des deux essais doit être comprise dans les limites spécifiées en 9.2.1.

9.3 Alimentation électrique – Fonctionnement sur batterie

9.3.1 Exigences – batteries

Le bloc d'accumulateurs de l'ensemble doit être facilement remplaçable par un bloc disponible et chargé par ailleurs. Quand l'alimentation électrique est fournie par des batteries rechargeables, la capacité de celles-ci doit être telle qu'après 4 h d'utilisation continue dans les conditions normales d'essai, l'indication de l'ensemble ne doit pas varier de plus de $\pm 5\%$, les autres fonctions restant conformes aux spécifications. Si des batteries rechargeables sont déchargées, il convient de pouvoir les recharger à partir du secteur en 8 h.

9.3.2 Méthode d'essai

On doit utiliser, pour cet essai, des batteries neuves du type indiqué par le constructeur. L'ensemble est exposé à un champ de rayonnement suffisant pour donner une indication convenable. Laisser l'ensemble fonctionner dans ce champ pendant une ou des périodes de la durée indiquée en 9.3.1 et noter le résultat à la fin de chaque période. Cet essai doit être répété avec les mêmes batteries avant utilisation.

9.4 Alimentation électrique par le secteur

9.4.1 Exigences

Les ensembles alimentés par le secteur doivent être conçus pour fonctionner à partir d'une source de tension monophasée de 47 Hz – 61 Hz et d'une tension d'alimentation comprise entre 100 V et 240 V en courant alternatif.

L'indication ne doit pas varier de plus de $\pm 3\%$ sur cette gamme de tensions d'alimentation.

9.4.2 Méthode d'essai

Placer le détecteur dans un champ de rayonnement de rayons gamma provenant d'une source connue. Pour chaque essai, stocker au moins 10 000 impulsions dans le pic d'absorption totale.

Avec une tension d'alimentation à sa valeur nominale, déterminer la valeur moyenne de l'indication (surface du pic d'absorption totale) donnée par l'appareil. Déterminer la valeur moyenne de l'indication avec une tension d'alimentation supérieure de 10 % à sa valeur nominale ainsi que la valeur moyenne avec une alimentation inférieure de 12 % à la valeur nominale. Ces valeurs moyennes ne doivent pas différer de $\pm 3\%$ de celle obtenue avec une tension d'alimentation à sa valeur nominale. Avec une fréquence variant de ± 3 Hz de la

fréquence nominale, il convient que les résultats ne diffèrent pas de plus de $\pm 3 \%$ de ceux obtenus à la fréquence nominale. Les essais ci-dessus doivent être répétés avec une fluence incidente suffisante pour que l'appareil donne une indication au moins égale aux deux tiers de la limite supérieure de l'étendue effective de mesure.

10 Caractéristiques mécaniques

10.1 Dommages dûs aux vibrations et aux chocs pendant le transport et le chargement

10.1.1 Exigences

L'appareil doit supporter les vibrations et les chocs sans dommage pendant les transports de routine effectués entre les sites où sont réalisées les mesures aussi bien qu'au cours du chargement (voir la CEI 60068). L'appareil doit garder ses caractéristiques de fonctionnement dans les limites spécifiées par le certificat. Le vide doit être maintenu à tout moment. Les essais de type relatifs aux chocs et aux vibrations doivent être réalisés comme spécifié au Tableau 3.

10.1.2 Essais relatifs aux dommages dus aux vibrations

Quand ces essais sont spécifiés par l'acheteur, ils doivent être réalisés comme suit.

- Faire une inspection visuelle et mesurer les caractéristiques spécifiées dans le certificat pour un type donné d'essai.
- Les essais aux vibrations sont réalisés, comme indiqué au Tableau 3, dans trois directions perpendiculaires, sauf autre spécification du certificat.
- La fréquence des vibrations doit être modifiée dans une direction. Quand la fréquence de vibration varie sur toute l'étendue spécifiée, chaque impulsion doit avoir une durée supérieure ou égale à 2 min.
- Les fréquences fixées et l'amplitude du mouvement sont réglées conformément au Tableau 4.
- Les fréquences auxquelles une résonance apparaît doivent être maintenues au moins pendant 2 min.
- La durée totale des conditions vibratoires doit être de 60 min. L'amplitude du mouvement, à une accélération de vibration déterminée, est donnée par:

$$s = 1\,000\, a / (2\pi f)^2 \approx 25\, a / f^2$$

où

s est l'amplitude du mouvement (une demi-oscillation) de la table vibrante, en mm;

a est l'accélération de vibration (amplitude), en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$;

f est la fréquence de vibration, en Hz.

Lors du réglage ou de la modification des paramètres de la table vibrante, les incertitudes doivent être inférieures à $\pm 15 \%$ en amplitude, $\pm 20 \%$ en accélération, $\pm 10 \%$ en fréquence.

Après les essais, les appareils doivent être examinés pour relever les dommages mécaniques ou le desserrage d'accessoires. Après avoir maintenu le matériel dans les conditions normales pendant le temps spécifié par le certificat, le matériel doit être mis sous tension et les caractéristiques techniques doivent être contrôlées comme spécifié pour ce type d'essai.

10.1.3 Essais de résistance aux vibrations

Quand ces essais sont spécifiés par l'acheteur, ils doivent être réalisés comme suit.

- Faire un examen externe (inspection visuelle) et relever les caractéristiques spécifiées dans le certificat pour un essai de type donné.
- Arrêter l'appareil, le fixer d'une manière rigide sur la table de vibration dans la position habituelle d'emploi. Mettre l'appareil en service.
- Conduire les essais en faisant varier lentement la fréquence dans les sous-gammes indiquées dans le Tableau 3. Il convient que le temps nécessaire pour couvrir chaque sous-gamme soit suffisant pour vérifier et noter les caractéristiques spécifiées dans le certificat, sans être toutefois inférieur à 3 min. L'amplitude du mouvement de la table de vibration est calculée au moyen de la formule donnée en 10.1.2.
- Chacune des fréquences pour lesquelles, au cours de l'essai, il y a instabilité et détérioration des caractéristiques spécifiées, doit être maintenue pendant le temps précisé dans le certificat, sans être inférieur à 5 min. La durée totale des conditions vibratoires doit être d'au moins 60 min.
- Après les essais, les appareils sont arrêtés, retirés de la table vibrante et examinés pour relever les dommages mécaniques éventuels et les raccords desserrés.
- Après avoir maintenu le matériel dans les conditions normales pendant le temps spécifié dans le certificat, le matériel doit être mis en service et les caractéristiques techniques doivent être examinées ainsi qu'il est spécifié pour ce type d'essai.

10.1.4 Essais de choc

Les essais doivent être effectués comme suit.

- Après avoir déterminé les caractéristiques techniques dans les conditions normales d'essai, le matériel est débranché et fixé sur la machine à chocs.
- La machine à chocs est mise en route.
- L'accélération, la durée des impulsions et le nombre de chocs sont fixés conformément au Tableau 3. Une condition d'essai est déterminée en fonction du tableau applicable à la machine à chocs ou par d'autres moyens, l'incertitude de mesure admissible ne devant pas être supérieure à $\pm 10 \%$.
- Après les essais, il est procédé à un examen externe (contrôle visuel), l'appareil est mis en service et les caractéristiques spécifiées dans le certificat pour un essai de type donné sont mesurées.
- Le matériel doit être considéré comme résistant aux chocs si, après les essais, il n'a pas subi de dégâts matériels et si ses caractéristiques correspondent aux exigences spécifiées dans le certificat pour un type d'essai donné.

10.1.5 Essais de résistance mécanique

Les essais de résistance mécanique en cours d'expédition doivent être réalisés comme suit.

- Un examen externe (contrôle visuel) est réalisé, l'appareil est mis en fonctionnement et les caractéristiques spécifiées dans le certificat pour ce type d'essai sont mesurées.
- Les matériels sont arrêtés et emballés pour chargement, comme indiqué dans la documentation correspondante.
- Les matériels sont fixés sur l'appareil d'essai dans une position convenable d'expédition en accord avec les indications portées sur l'emballage.
- La condition de l'essai est fixée conformément au Tableau 3 pour toutes les conditions d'expédition.
- Après les essais, les matériels sont retirés de l'appareil d'essai, ils sont examinés pour repérer les dommages mécaniques et les fixations défectueuses.
- Les matériels sont mis en fonctionnement et les caractéristiques spécifiées dans le certificat pour un type d'essai donné sont mesurées.

- Les matériels sont considérés comme résistants aux chocs d'essais mécaniques si, après ces essais, il n'y a pas de dommage mécanique et si leurs caractéristiques, dans les conditions normales, restent conformes aux exigences spécifiées dans le certificat pour un type d'essai donné.

11 Exigences environnementales et essais

11.1 Exigences et essais aux températures extrêmes

11.1.1 Exigences

La dérive et la linéarité du système global ne doit pas varier de plus d'1/1000 pour une variation d'1 °C. La valeur minimale acceptable de la résolution (voir 8.4.1) doit être maintenue pour des températures de fonctionnement allant de –10 °C à +40 °C. La réponse entre –10 °C et +40 °C doit rester à ± 5 % par rapport aux résultats obtenus dans les conditions normales d'essai. La précision de l'horloge interne, c'est-à-dire du circuit de temporisation, ne doit pas varier de plus de $\pm 0,1$ % entre –10 °C et +40 °C. Si cela est nécessaire, l'étendue de température peut être augmentée, par exemple entre –20 °C et +50 °C par accord entre l'acheteur et le fournisseur.

11.1.2 Méthode d'essai

Cet essai doit normalement être réalisé dans une enceinte climatique. Habituellement, il ne doit pas être nécessaire de contrôler l'humidité de l'air dans l'enceinte, à moins que le matériel ne soit particulièrement sensible à l'humidité.

- Exposer le matériel à une source convenable de rayonnement pour obtenir des indications à deux points au moins de l'étendue de mesure et noter le résultat obtenu dans les conditions normales d'essai (voir Tableau 1).
- La température doit alors être maintenue à chacune de ses valeurs extrêmes, au moins pendant 4 h et la mesure effectuée pendant les 30 dernières minutes de cette période.
- La dérive et la linéarité doivent être contrôlées en utilisant un générateur d'impulsions certifié et étalonné à trois énergies (canaux) différentes et en couvrant l'étendue des impulsions d'entrée correspondant à des pics de rayonnement gamma de 0,01 MeV à 3 MeV.
- La résolution doit être vérifiée en mesurant la fluence d'une source étalonnée de cobalt 60 de 185-370 kBq (5-10 μ Ci) placée à 25 cm sur un axe perpendiculaire à la face avant du détecteur.

L'essai de type d'un système entièrement portable et d'un ensemble de détection transportable doit être réalisé pendant 1 h à trois températures stables comprises entre –10 °C et +40 °C et pendant 1 h alors que la température varie d'une manière continue de 20 °C à 30 °C, et de 20 °C à 10 °C. Il ne doit pas y avoir de perte d'information du système de stockage sur toute l'étendue de l'essai.

11.2 Influence de l'humidité relative (HR)

11.2.1 Exigences

L'indication (surface du pic d'absorption totale) de l'appareil ne doit pas varier de plus de ± 5 % par rapport à celle obtenue dans les conditions normales d'essai, lorsque l'humidité relative atteint 95 % pour des températures extrêmes de 2 °C et 35 °C.

L'essai de cette grandeur d'influence n'est exigé que si son effet est considéré comme significatif.

Le gain, la linéarité, la résolution (ou résolution spectrale) doivent faire l'objet d'un essai de type à une humidité relative de 30 %, 80 % et 95 % pendant 1 h. Les variations ne doivent pas dépasser ± 5 %.

11.2.2 Méthode d'essai

L'essai doit être réalisé dans une enceinte climatique contrôlée à la seule température de 35 °C. La variation autorisée de l'indication de ± 5 % s'ajoute à celle autorisée pour la variation de température seule.

11.3 Exigences de résistance au vent et essais

11.3.1 Exigences

La résolution ne doit pas être réduite de plus de 10 % pour des vents atteignant $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et de plus de 20 % pour des bourrasques atteignant $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

11.3.2 Méthode d'essai

L'ensemble monté doit être soumis à l'essai en configuration normale de fonctionnement et résister à un vent permanent de $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et à des bourrasques de $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sans basculer. Si le support est doté d'attaches, celles-ci doivent être fixées avant l'essai. Le vent ne doit pas provoquer de microphonie qui diminuerait la résolution en-dessous du niveau exigé (voir Tableau 2).

11.4 Résistance du détecteur aux cycles thermiques

11.4.1 Exigences

Les détecteurs intrinsèques au germanium de haute qualité (HPGe) doivent résister à des cycles de températures spécifiés par le constructeur, sans perte de résolution ni d'efficacité. La résolution spectrale doit être maintenue dans les limites spécifiées par le constructeur.

11.4.2 Méthode d'essai

Les essais doivent consister à faire subir au détecteur un cycle allant du réchauffage complet à la température de fonctionnement, une fois par jour, pendant trois jours.

11.5 Exigences d'étanchéité des matériels

Sauf indication du constructeur, la plupart des ensembles de détection sont exposés à l'entrée d'humidité et aux dommages qui en résultent. Il convient de prendre ce risque en considération lors des essais pratiqués sur l'ensemble.

Les systèmes portables doivent être pourvus de caisses de transport et d'embarquement étanches à l'humidité. Il convient de protéger soigneusement les ensembles de détection au germanium de haute qualité (HPGe) de l'entrée d'humidité, indirecte par condensation, ou directe par précipitation. Il convient d'assurer la ventilation autour de la capsule contenant les équipements électroniques et le détecteur.

11.6 Champs électromagnétiques externes

11.6.1 Généralités

A moins que des précautions particulières ne soient prises au niveau de la conception d'un ensemble, celui-ci peut être mis hors d'usage ou donner des indications erronées en présence de champs électromagnétiques externes, en particulier de radiofréquences.

11.6.2 Exigences

Si l'indication d'un ensemble peut être affectée par la présence de champs électromagnétiques externes, le constructeur doit signaler ce fait et il doit également le notifier dans la notice d'utilisation.

Si un constructeur déclare qu'un ensemble est insensible aux champs électromagnétiques, il doit indiquer la gamme de fréquences et les types de rayonnements électromagnétiques en présence desquels l'ensemble a été soumis à l'essai ainsi que l'intensité maximale utilisée.

11.6.3 Méthode d'essai

En raison de la grande diversité des fréquences et des types de rayonnements électromagnétiques que l'on peut rencontrer, la présente norme ne définit pas de méthode d'essai. Cette méthode doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

11.7 Champs magnétiques externes

11.7.1 Exigences

Si l'indication de l'ensemble peut être affectée par des champs magnétiques externes, le constructeur doit le signaler dans la notice d'utilisation.

11.7.2 Méthode d'essai

Cette méthode doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

11.8 Stockage et transport

Tous les appareils conçus pour une utilisation sous un climat tempéré doivent être prévus pour fonctionner conformément aux spécifications de la présente norme, après un temps suffisant pour atteindre la température ambiante, suite à un stockage (ou transport), sans batteries, d'au moins six mois dans les emballages d'origine et à une température comprise entre –25 °C et +50 °C.

Dans certains cas, des spécifications plus sévères peuvent être exigées, telle que la capacité à supporter un transport aérien sans pressurisation.

12 Recommandations relatives à l'étalonnage

Voir l'Annexe A.

13 Documentation

13.1 Certificat

Chaque appareil doit être accompagné d'un certificat donnant au moins les informations suivantes (voir la CEI 61187):

- nom du constructeur ou marque déposée;
- coordonnées du constructeur, incluant le nom, l'adresse, le numéro de téléphone, le numéro de fax, l'adresse électronique;
- type de l'ensemble et numéro de série;
- étendue effective de mesure;
- courbe de réponse en fonction de l'énergie de rayonnement;

- durée de vie des batteries, instructions de chargement;
- capacité de l'azote liquide (le cas échéant), durée entre deux remplissages et instructions de remplissage;
- point de référence de l'ensemble aux fins d'étalonnage et orientation de référence par rapport à la source d'étalonnage;
- type de détecteur et caractéristiques (par exemple taille, forme, résolution, efficacité);
- situation et dimensions du volume sensible;
- tension de polarisation du détecteur, polarité;
- masse surfacique des parois entourant le volume sensible du détecteur (en milligrammes par centimètre carré) et matériaux des parois (c'est-à-dire aluminium, acier inoxydable, par exemple);
- dimensions et poids de l'ensemble ;
- résultats des essais.

13.2 Manuels de fonctionnement et d'entretien

Le constructeur doit fournir un manuel de fonctionnement et d'entretien comprenant les informations suivantes à destination de l'utilisateur:

- Instructions de fonctionnement et restrictions d'exploitation
- Schéma de connexion du module
- Schéma des connexions électriques
- Liste des pièces détachées
- Guide de dépannage
- Description et protocole des méthodes de communication pour la transmission et la réception de données
- Description du format des données pour les fichiers de sortie.

Chaque ensemble doit être fourni avec la notice d'utilisation appropriée conformément à la CEI 61187.

Tableau 1 – Conditions de référence et conditions normalisées d'essai

Grandeur d'influence	Conditions de référence	Conditions normalisées d'essai	Limites de tolérance	Références (paragraphe)
RAYONNEMENT:				
Bruit de fond dû à la contamination	Négligeable	Installation bas bruit de fond	Voir texte	8.4.1
Réponse angulaire	Incidence normale	Source ponctuelle de ^{60}Co , axiale (1), azimutale (2)	<5 % (1) ± 20 % (2)	8.3.1
Résolution ¹	LTMH à 1 333 keV	Source ponctuelle de ^{60}Co à 25 cm, incidence normale	≤2 keV	8.4.1
ELECTRIQUE:				
Fluctuations statistiques	Tension et fréquence nominales	Valeurs nominales ± 1 %	<5 %	9.1.1
Durée de vie de la batterie	8 h consécutives	Fonctionnement continu	<5 %	9.3.1
Alimentation électrique	Tension et fréquence nominales	Valeurs nominales –12 %, +10 %	<3 % <0,1 % (gain)	9.4.1
Temps de préchauffage	<5 min	<5 min	<10 %	9.2.1
MÉCANIQUE:				
Vibrations	Utilisation habituelle	Voir Tableau 3	Voir Tableau 3	10.1.1
Chocs	Expédition	Voir Tableau 3	Voir Tableau 3	10.1.1
Survie aux vibrations	Expédition	Voir Tableau 4	Voir Tableau 4	10.1.1
Résistance aux vibrations	Utilisation habituelle	Voir Tableau 5	Voir Tableau 5	10.1.1
ENVIRONNEMENT:				
Température	20 °C	–10 °C à 40 °C	< 0,01 %/°C gain zéro < 5 % sur indication	11.1.1
Humidité	HR 65 % à 35 °C	10 % à 95 %	<5 %	11.2.1
Vent	9 m·s ⁻¹ Bourrasques jusqu'à 20 m·s ⁻¹	Monté sur support	< 5 m·s ⁻¹	11.3
Eau	Sec	Pluie	<5 %	11.6
Refroidissement	Durée 8 h à 10 h	Utilisation habituelle	----	6.3
Cycle de température	Journalier	Utilisation habituelle	<5 %	11.4
Champs électromagnétiques et magnétiques	Champs terrestres	Si exigé	<5 %	11.8.1
NOTE Toutes les limites sont celles indiquées sauf avis contraire.				
¹ Pour les détecteurs de cristaux minces, le ^{137}Cs peut être substitué.				

Tableau 2 – Essais effectués avec variation des grandeurs d'influence

Grandeur d'influence	Etendue des valeurs de la grandeur d'influence	Limites des variations de l'indication	Références (paragraphe)
RAYONNEMENT:			
Energie du rayonnement gamma	60 keV à 300 keV	± 10 %	8.1
	0,3 MeV à 2,5 MeV	± 5 %	
Angle d'incidence (voir Figure 1)	θ = 0° à 90°	≤ 20 %	8.2
	ψ = 0° à 360°	< 5 %	
ÉLECTRICITÉ:			
Tension de la batterie	80 % à 110 % valeur nominale pendant 8 h en fonctionnement continu	< 10 %	9.3.1
MÉCANIQUE:			
Fréquence de vibrations	Voir Tableaux 4 et 5		
ENVIRONNEMENT:			
Température	−10 °C à +40 °C	< 50 mV efficaces tension de bruit < 1 % horloge < 10 % réponse < 0,1 % gain ou zéro	11.1.1
Humidité relative	10 % à 95 %	< 5 %	11.2.1
Vent	0 m·s ^{−1} à 9 m·s ^{−1} Bourrasques 9 m·s ^{−1} à 120 m·s ^{−1}	< 10 % perte de résolution < 20 % perte de résolution	11.3
Refroidissement	0 h à 12 h	> 8 h	6.3
Cycle thermique	Journalier pendant 3 jours	Pas d'effet	11.4

Tableau 3 – Performances mécaniques dans les conditions d'essai

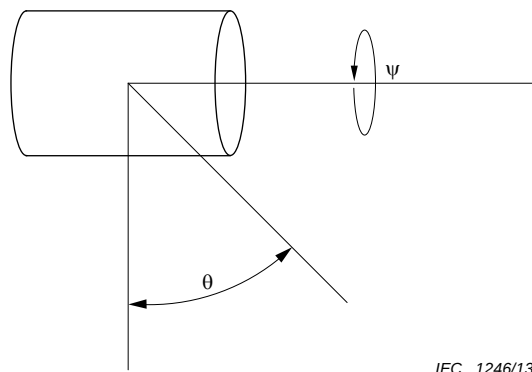
Conditions d'essais	Grandeur d'influence	Valeur de la grandeur d'influence
Conditions d'utilisation	Vibrations	
	– Fréquence, Hz	10 à 70
	– Accélération maximale, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	40
	– Durée de l'essai, h	1
Transport	Chocs par minute	10 à 50
	– Accélération maximale, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	150
	– Durée des impulsions, ms	6 à 12,5
	– Nombre total de chocs	2 000
	Vibrations	
	– Fréquence, Hz	10 à 70
	– Accélération maximale, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	30
	– Durée de l'essai, h	1
Chargement	Chocs par minute	80 à 120
	– Accélération maximale, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	250
	– Durée des impulsions, ms	6 à 20
	– Nombre total de chocs	2 000
	Vibrations	
	– Fréquence, Hz	10 à 70
	– Accélération maximale, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	40
	– Durée de l'essai, h	1
NOTE Les systèmes portables doivent être soumis aux essais dans leur emballage de transport ainsi que dans leur configuration normale d'utilisation.		

Tableau 4 – Essais de capacité de survie à différentes fréquences fixes de vibration

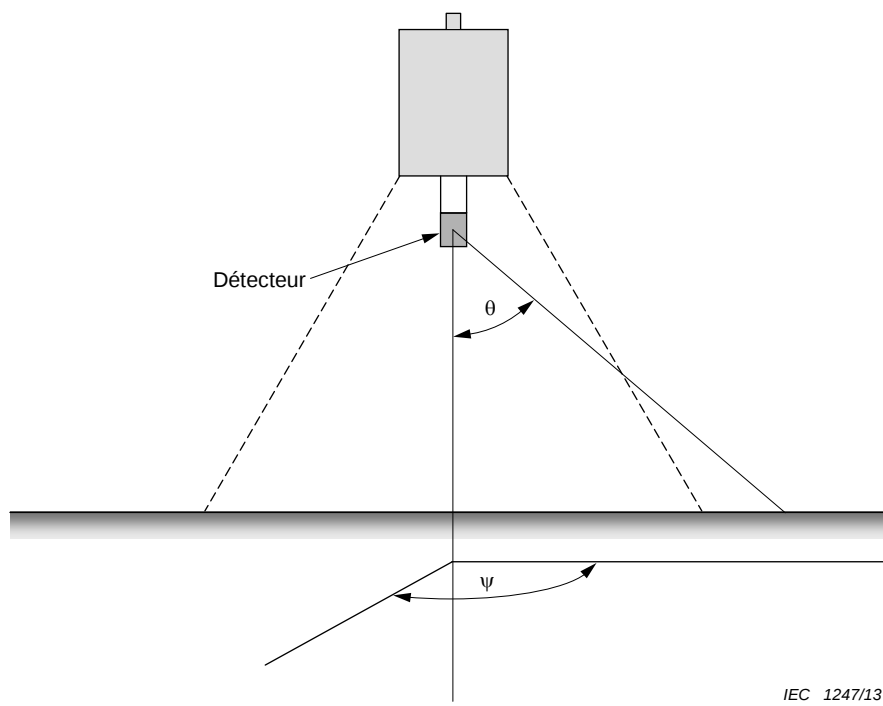
	Conditions d'essai	
Gamme de fréquences Hz	Accélération $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	Amplitude mm
18	–	0,5 à 0,7
24	–	0,5 à 0,7
36	–	0,3 à 0,5
48	–	0,3 à 0,5

Tableau 5 – Essais de résistance aux vibrations à des fréquences variant lentement

	Conditions d'essai	
Gamme de fréquences Hz	Accélération $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	Amplitude mm
10 à 20	–	0,7
20 à 30	–	0,5
30 à 40	–	0,5
40 à 50	–	0,3
50 à 60	–	0,3
60 à 70	40	–



a) Etalonnage et essai



b) Utilisation sur le terrain

Figure 1 – Distribution angulaire de la fluence incidente

Annexe A (informative)

Etalonnage

A.1 Recommandations

Il existe globalement deux approches reconnues pour l'étalonnage des détecteurs in situ:

- a) Une approche très efficace consiste à déduire, à partir de solutions analytiques, des équations de transport photonique [1-4]. Cette approche constitue l'objet du rapport ICRU 53 [5]; il convient d'y faire référence de façon détaillée.
- b) Une autre approche consiste à déduire des étalonnages empiriques par comparaison avec des points de référence au sol. Si l'on suspecte des variations au niveau de la répartition de l'activité latérale dans le champ de vision d'un détecteur in situ, la précision d'étalonnage peut être affectée par des incertitudes aléatoires et systématiques introduites par l'environnement hétérogène [6]. Il est important d'utiliser des plans d'échantillonnage structurés pour déduire un sol de référence. Par exemple, il n'est pas rare que le coefficient de variation des retombées de césium 137 à Tchernobyl dépasse 30 %; il convient donc de prélever un nombre suffisant d'échantillons afin d'assurer la précision nécessaire pour l'estimation d'étalonnage. Ces conditions tendent à privilégier l'utilisation de plans d'échantillonnage structurés [7]. Voir également la CEI 62438 [8].

A.2 Documents de référence

- [1] Beck, H.L., J. Decampo & C. Gogolak. *In situ* Ge(Li) and NaI(Tl) Gamma-Ray Spectrometry. HASL-258. United States Atomic Energy Commission – Health and Safety (TID-4500). 75pp. 1972.
- [2] Anspaugh, L.R., Phelps, P.L. and Huckabay, G.W. *IV Methods for the in-situ Measurement of Radionuclides in Soil*. Pico-Medical Division, Lawrence Livermore Lab. University of California, Livermore, California, 94550. 1972.
- [3] Helfer, I.K. and Miller, K.M. Calibration factors for the Ge Detectors used for Field Spectrometry. *Health Physics*. 55(1): 15-29. 1988.
- [4] Sowa, W., Martini, E., Gehrike, K., Marshner, P., Nazary, M.J. Uncertainty of in-situ gamma spectrometry for environmental monitoring. *Radiation Protection Dosimetry*. 27(2): 93-101. 1989.
- [5] ICRU. *In-Situ Gamma-ray Spectrometry in the Environment*. Report by the International Committee for Radiological Units, No. 53. 1994.
- [6] Tyler, A.N. *Situ and airborne gamma-ray spectrometry*. In: *Analysis of Environmental Radionuclides*, Edited by P. P. Povinec. Elsevier: Radioactivity in the Environment, Volume 11. 532pp. 2007.
- [7] Tyler, A.N., Sanderson, D.C.W., Scott, E.M., Allyson, J.D. Investigations of Spatial Variability and Fields of View in Environmental Gamma Ray Spectrometry. *J. Environ. Radioactivity*. 33(3): 213-235. 1996.
- [8] CEI 62438:2010, *Instrumentation pour la radioprotection – Instrumentation mobile pour la mesure des rayonnements gamma et neutroniques dans l'environnement*

Annexe B (informative)

Estimation de la réponse du détecteur en fonction de sa taille, de sa forme et de son efficacité relative

B.1 Estimation

Le taux de comptage dans le pic d'absorption totale, correspondant à des photons incidents d'énergie donnée, par unité de fluence perpendiculaire à la face avant du détecteur, peut être calculé d'une façon assez précise au moyen de la relation suivante [1]:

$$\ln (N_o/\phi) = a - b \ln E$$

où

E est l'énergie des photons, en MeV;

N_o/ϕ est le débit de fluence des photons incidents exprimé en imp/min par photon $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;

a et b sont des facteurs propres au détecteur. a et b peuvent être obtenus avec une bonne approximation à partir de l'efficacité relative du détecteur ε comme suit:

$$a = 2,689 + 0,4996 \ln \varepsilon + 0,0969 (\ln \varepsilon)^2$$

$$b = 1,315 - 0,02044 \varepsilon + 0,00012 \varepsilon^2$$

où ε est exprimé en décimal.

Ces formules peuvent donc être utilisées pour estimer la réponse en énergie du système sans avoir besoin de sources d'étalonnage situées dans la bande d'énergie étudiée.

B.2 Document de référence

- [1] Helfer I. and Miller K., Calibration Factors for Germanium Detectors Used for Field Spectrometry, HEALTH PHYSICS **55**(1): 15-29. 1988.

Annexe C (informative)

Utilisation et interprétation des données

C.1 Recommandations

Si l'on souhaite faire une estimation quantitative de la concentration d'activité sur ou dans un sol, il convient que le détecteur soit placé à une hauteur d'environ 1 m au-dessus du sol, son axe perpendiculaire à la surface du sol et que le stockage du spectre de rayonnement gamma s'effectue pendant une durée déterminée. La fluence des rayonnements gamma détectée peut être reliée à l'activité présente à condition que la distribution en profondeur de la source soit connue ou qu'elle puisse être déduite. On trouve des publications contenant des facteurs de conversion reliant les fluences photoniques primaires dans l'air pour des sources distribuées de façon exponentielle dans le sol [1,2] et des exemples figurent dans le Tableau C.1. Ils sont indépendants du détecteur. La réponse du détecteur dépendant de la fluence incidente, de l'énergie et de l'angle d'incidence peut être déterminée avec précision par étalonnage ou estimée à partir de la taille et de la forme du détecteur (voir Annexes A et B). L'utilisateur peut mesurer la réponse en énergie du détecteur à partir du spectre obtenu avec une source étalon contenant plusieurs radionucléides ou un seul radionucléide dont les rayonnements gamma couvrent une large gamme d'énergies, (par exemple ^{226}Ra ou ^{152}Eu). L'utilisateur peut alors déduire le facteur de conversion par unité d'activité d'un radionucléide spécifique présent dans le sol, à partir de la réponse à une fluence d'incidence normale, de la réponse en énergie et du profil supposé de répartition en profondeur. Les facteurs d'étalonnage approchés, pour quelques radionucléides, sont donnés à l'Annexe D en fonction de l'efficacité du détecteur. Des facteurs d'étalonnage similaires peuvent être déduits pour un nuage semi-infini dans l'air [3].

Les temps d'échantillonnage peuvent être ajustés pour obtenir la limite de détection exigée, en fonction de l'activité de la source, de la taille du détecteur et du taux de comptage. Il est recommandé de vérifier fréquemment la résolution de l'appareil, et systématiquement avant utilisation. Dans les périodes d'utilisation intensive, il convient de vérifier l'appareil plus fréquemment, c'est-à-dire journalièrement.

Le paramètre le plus important pour déterminer avec précision l'activité d'un sol est la distribution en profondeur de la source (voir Tableau C.1). Si le profil effectif peut varier de manière significative d'un site à l'autre, car il dépend du scénario de dépôt et des caractéristiques du site, la distribution approximative peut souvent être déduite de la connaissance du scénario de contamination. Par exemple, les retombées récentes sont généralement réparties près de la surface du sol, ce qui peut être considéré comme une source plane, uniforme et infinie. Les radionucléides naturels sont généralement répartis d'une manière uniforme dans le sol. Souvent, même si le profil en profondeur n'est pas connu, la spectrométrie *in situ* peut être utilisée efficacement en complément d'analyse d'échantillon de sol pour obtenir rapidement une première estimation grossière des niveaux d'activité, pour mieux déterminer où prélever des échantillons de sol, pour identifier les radionucléides présents et pour étendre largement la surface susceptible d'être rapidement contrôlée. Par ailleurs, un nombre relativement petit d'analyses du sol peut suffire à déterminer correctement la distribution en profondeur ou la gamme des distributions en profondeur, ce qui permet d'obtenir des analyses quantitatives plus précises en utilisant les données obtenues *in situ*, d'élargir l'application de la technique *in situ* et de réduire parallèlement le nombre d'échantillons de sol nécessaires.

Des avancées importantes ont été réalisées dans la mise au point de méthodes de correction d'étalonnage *in situ* ne nécessitant pas la collecte de noyaux émetteurs pour caractériser la distribution en profondeur. On distingue trois approches principales face à ce problème:

a) l'atténuation différentielle des lignes d'émission de rayonnement gamma, ou méthode à deux lignes [4,5];

b) la pro-diffusion ou méthode pic/vallée [6-8]; et

c) l'utilisation de collimateurs de plomb [9,10] ou d'un blindage de plomb placé à diverses distances devant le détecteur [11], accompagnée de mesures *in situ* répétées permettant de restituer les distributions en profondeur. Ces méthodes sont résumées en [12].

L'estimation de la contribution au débit d'exposition d'un radionucléide particulier présent dans le sol est beaucoup moins sensible à la distribution effective en profondeur. Le débit d'exposition pour chaque radionucléide détecté peut être estimé avec une précision supérieure à 25 % avec seulement une estimation grossière des profils de distribution (c'est-à-dire activité en surface des dépôts frais, distribution en profondeur d'une contamination ancienne). Les facteurs de conversion en taux d'exposition sont résumés en [1,2].

Quand elle est utilisée correctement, la spectrométrie gamma *in situ* peut permettre le contrôle rapide de grandes surfaces et l'évaluation presque immédiate de l'inventaire quantitatif par opposition aux nombreux heures et jours nécessaires pour procéder à l'analyse des échantillons en laboratoire. L'avantage supplémentaire par rapport à l'échantillonnage du sol est que la spectrométrie *in situ* voit de grandes surfaces (environ 10 m de rayon en fonction de l'énergie photonique et de la distribution en profondeur) et intègre la fluence de toute cette surface, tandis que de nombreux prélèvements de sol peuvent être nécessaires pour obtenir un échantillon ayant une représentativité comparable par rapport à l'inventaire vrai du site.

Tableau C.1 – Fluence photonique primaire dans l'air à une hauteur de 1 m au-dessus du niveau du sol par unité de photon source par unité surfacique des sources distribuées de façon exponentielle dans le sol [1]

Energie de la source keV	β Masse de relaxation par unité de surface (g cm^{-2})						
	50	20	10	5	2	0,2	0 (superficielle)
50	0,0270	0,0647	0,121	0,215	0,415	1,13	1,69
100	0,0519	0,191	0,212	0,351	0,603	1,30	1,72
150	0,0622	0,141	0,247	0,401	0,669	1,37	1,77
200	0,0691	0,155	0,269	0,433	0,710	1,41	1,82
300	0,0805	0,178	0,304	0,480	0,768	1,49	1,90
500	0,0975	0,213	0,356	0,551	0,858	1,60	2,01
662	0,109	0,234	0,389	0,589	0,904	1,65	2,05
1 000	0,130	0,273	0,443	0,660	0,989	1,74	2,15
1 461	0,154	0,318	0,500	0,730	1,07	1,83	2,24
2 000	0,177	0,357	0,555	0,794	1,14	1,91	2,32
3 000	0,211	0,414	0,628	0,881	1,24	2,02	2,42

NOTE $\gamma \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ à 1 m par unité d'intensité de la source dans le sol où l'activité Am pour toute masse donnée par unité surfacique (ζ) (densité d'humidité du champ $\text{g cm}^{-3} \times$ profondeur cm) en-dessous de la surface du sol est présumée décroître avec la profondeur comme $\exp(-\zeta/\beta) \times Am,0$ où β est la masse de relaxation par unité surfacique (g cm^{-2}) et $Am,0$ est l'activité par unité de masse à la surface du sol (Bq kg^{-1}).

C.2 Documents de référence

- [1] ICRU In-Situ Gamma-ray Spectrometry in the Environment. Report by the International Committee for Radiological Units, No. 53. 84pp
- [2] M. Lemerancier et al. Specific Activity to $H^*(10)$ conversion coefficients for in situ gamma spectrometry. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 128, pp.83-89, 2008

- [3] Gogolak C.V., *Rapid Determination of Noble Gas Radionuclide Concentrations in Power Reactor Plumes*, HEALTH PHYSICS 46, 783-792, 1984
- [4] Rybacek, K., Jacob, P. & Macklach, R. In Situ Determination of Deposition Radionuclide Activities: Improvement of the Method by Deriving Depth Distributions from the measured Photon Spectra. Health Physics 62, 519-528, 1991
- [5] Miller, K.M., Shebell, P., Klemic, G.A., 1994. In situ gamma ray spectrometry for the measurement of uranium in surface soils. Health Physics. 67(2), 140-150. 1994
- [6] Zombori, P., Andrrasi, A., Nemeth, I. *In situ* Gamma Spectrometric Measurements of the Contamination in Some Selected Settlements of Byelorussia (BSSR), Ukraine (UkrSSR) and the Russian Federation (RSFSR). Journal of Environmental Radioactivity. 17 97-106. 1992
- [7] Tyler, A.N., 1999. Monitoring Anthropogenic Radioactivity in Salt Marsh Environments through *in situ* gamma ray spectrometry J. Environ. Radioactivity. 45(3): 235-252. 1999
- [8] Tyler, A.N., D.A. Davidson, & I.C. Grieve. *In Situ* Radiometric Mapping of Soil Erosion and Field-Moist Bulk Density on Cultivated Fields. Soil Use and Management. 17: 88-96. 2001
- [9] Benke, R.R. and Kearfoot, K.J. Demonstration of a collimated in situ method for determining depth distributions using gamma ray spectrometry. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 483. 814-831. 2002
- [10] Fülöp, M. and Ragan, P. *In Situ* measurements of ¹³⁷Cs in soil by unfolding method. Health Physics 72(6), 923-930. 1997
- [11] Korun, M., Likar, A., Lipoglavsek, M., Martincic, R., Pucelj, B. *In situ* measurement of Cs Distribution in Soil. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 93(4), 485-491. 1994
- [12] Tyler, A.N. *In Situ* and airborne gamma-ray spectrometry. In: *Analysis of Environmental Radionuclides*, Edited by P. P. Povinec. Elsevier: Radioactivity in the Environment, Volume 11. 532pp. 2007

Annexe D (informative)

Taux de comptage attendus dans le pic d'absorption totale par unité d'activité de dépôt pour des radionucléides déterminés récemment déposés

D.1 Recommandations

Pour obtenir les facteurs d'étalonnage reliant le taux de comptage dans le pic d'absorption totale à l'activité massique ou surfacique d'un radionucléide présent dans le sol avec un profil donné, on multiplie la fluence par unité d'activité massique ou surfacique donnée dans l'Annexe A par la valeur calculée à l'Annexe B du taux de comptage dans le pic d'absorption totale par unité de fluence et par les pourcentages d'émission de rayonnement gamma publiés pour les radionucléides étudiés.

Une correction due à une réponse angulaire du détecteur non isotrope doit également être effectuée, toutefois le facteur de correction exigé est faible et proche de 1,0 pour des détecteurs orientés vers le sol, ayant un rapport hauteur/diamètre proche de 1,0. Des facteurs de correction angulaire plus précis peuvent également être calculés à partir des dimensions spécifiées du détecteur ou mesurées exactement (voir Article B.2). Le Tableau D.1 donne les valeurs approchées des taux de comptage dans le pic d'absorption par unité d'activité de sol pour une sélection de radionucléides récemment déposés (faible pénétration dans le sol, c'est-à-dire longueur de relaxation $\alpha = 6,25 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ (où α est ρ/β , et ρ est la densité g cm^{-3}) en fonction de l'efficacité relative du détecteur, en supposant que le facteur de correction angulaire est de 1,0).

**Tableau D.1 – Taux de comptage dans le pic d'absorption totale
par minute en impulsions kBq m^{-2} [1]**

Nucléide	Energie keV	Efficacité relative du détecteur %								
		5	10	15	20	25	30	35	40	45
⁶⁰ Co	1 173	0,11	0,20	0,30	0,42	0,55	0,68	0,82	0,97	1,13
	1 333	0,10	0,18	0,28	0,38	0,50	0,63	0,77	0,92	1,07
⁹⁵ Zr	724	0,08	0,14	0,20	0,27	0,33	0,40	0,47	0,53	0,62
	757	0,10	0,17	0,25	0,33	0,40	0,50	0,58	0,67	0,77
⁹⁵ Nb	765	0,17	0,30	0,45	0,58	0,73	0,90	1,05	1,22	1,38
¹⁰³ Ru	497	0,23	0,40	0,57	0,73	0,88	1,03	1,18	1,33	1,50
¹³¹ I	365	0,30	0,52	0,70	0,88	1,03	1,20	1,35	1,48	1,63
¹³² I	669	0,20	0,37	0,52	0,68	0,85	1,02	1,18	1,37	1,53
¹³⁴ Cs	605	0,22	0,38	0,53	0,70	0,87	1,02	1,18	1,35	1,52
	798	0,14	0,25	0,37	0,50	0,62	0,77	0,88	1,02	1,17
¹³⁷ Cs	662	0,17	0,30	0,43	0,57	0,70	0,85	0,98	1,13	1,28
¹⁴⁰ Ba	537	0,06	0,10	0,15	0,20	0,23	0,28	0,32	0,37	0,40
¹⁴⁰ La	487	0,13	0,23	0,32	0,40	0,48	0,57	0,65	0,73	0,82
	1 596	0,08	0,14	0,23	0,32	0,42	0,53	0,65	0,78	0,93
		0,11	0,20	0,30	0,42	0,55	0,68	0,82	0,97	1,13

D.2 Documents de référence

- [1] Helfer, I.K. and Miller, K.M. *Calibration factors for the Ge Detectors used for Field Spectrometry*. Health Physics. 55(1): 15-29. 1988

Annexe E (informative)

Incertitude relative intrinsèque

E.1 Recommandations

Dans les conditions normales d'essai, l'incertitude relative intrinsèque de la réponse de l'ensemble, quand il est exposé à un sol de référence dans le champ d'une source connue, ne dépasse pas en principe 20 % sur la totalité de l'étendue effective de mesure pour les rayonnements photoniques de référence choisis. Voir Annexe A.

E.2 Méthode d'essai

- a) Sources de rayonnement d'essai: l'activité massique conventionnellement vraie du sol de référence doit être connue avec une incertitude inférieure à 10 % pour cet essai.
- b) Essais à effectuer: un essai de type doit être effectué sur au moins un ensemble de la série.
- c) Méthode d'interprétation des résultats: lorsque l'on vérifie si la recommandation est respectée, il est nécessaire de prendre en compte l'incertitude des valeurs conventionnellement vraies utilisées au cours des essais. Si aucune des valeurs observées n'excède ± 30 %, les mesures sont considérées comme satisfaisantes.

Il faut noter que cet essai nécessite que l'activité massique du sol et sa distribution en profondeur soient connues au moyen de mesures ou d'analyses préalables d'un échantillon de sol. Voir Annexe A.

Bibliographie

CEI 60050-393:2003, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 393: Instrumentation nucléaire: Phénomènes physiques et notions fondamentales*

CEI 60050-394:2007, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 394: Instrumentation nucléaire – Instruments, systèmes, équipements et détecteurs*

CEI 60050-395, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 395: Instrumentation nucléaire: Phénomènes physiques, notions fondamentales, instruments, systèmes, équipements et détecteurs*

CEI 60068-2-1:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-1: Essais – Essai A: Froid*

CEI 60068-2-2:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essai B: Chaleur sèche*

CEI 60068-2-6:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

CEI 60068-2-7:1983, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-7: Essais – Essai Ga et guide: Accélération constante*

CEI 60068-2-14:2009, *Essais d'environnement – Partie 2-14: Essais – Essai N: Variation de température*

CEI 60068-2-17:1994, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-17: Essais – Essai Q: Etanchéité*

CEI 60068-2-18:2000, *Essais d'environnement – Partie 2-18: Essais – Essai R et guide: Eau*

CEI 60068-2-38:2009, *Essais d'environnement – Partie 2-38: Essais – Essai Z/AD: Essai cyclique composite de température et d'humidité*

CEI 60068-2-39:1976, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais. Essai Z/AMD: Essai combiné séquentiel de froid, basse pression atmosphérique et chaleur humide*

CEI 60973:1989, *Méthodes d'essais de détecteurs gamma en germanium*

CEI 61145:1992, *Etalonnage et utilisation de systèmes à chambre d'ionisation pour le dosage des radionucléides*

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