

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61577-1

Première édition
First edition
2000-08

**Instrumentation pour la radioprotection –
Instruments de mesure du radon
et des descendants du radon –**

**Partie 1:
Règles générales**

**Radiation protection instrumentation –
Radon and radon decay product
measuring instruments –**

**Part 1:
General requirements**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61577-1:2000

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61577-1

Première édition
First edition
2000-08

**Instrumentation pour la radioprotection –
Instruments de mesure du radon
et des descendants du radon –**

**Partie 1:
Règles générales**

**Radiation protection instrumentation –
Radon and radon decay product
measuring instruments –**

**Part 1:
General requirements**

© IEC 2000 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX XB
PRICE CODE

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
Articles	
1 Domaine d'application et objet.....	12
2 Références normatives.....	12
3 Terminologie et unités	14
4 Caractéristiques des éléments radioactifs à mesurer	26
5 Instruments utilisés pour la mesure du radon et des descendants du radon	30
5.1 Critères pour la classification des instruments de mesure du radon et de ses descendants	30
5.2 Méthodes de mesure du radon dans une atmosphère.....	30
5.3 Méthodes de mesure des descendants du radon dans une atmosphère	32
5.4 Gamme de paramètres d'essai.....	32
6 Nécessité d'une atmosphère de référence	32
6.1 Méthodes d'essai usuelles.....	32
6.2 Mélanges d'isotopes du radon.....	34
6.3 Le concept de STAR	34
7 Procédures pour les essais des instruments de mesure du radon et des descendants du radon	36
7.1 Procédures pour les essais des instruments de mesure du radon	36
7.2 Procédures pour les essais des instruments de mesure des RnDP	36
Annexe A (informative) Les radionucléides des chaînes de l'uranium et du thorium	38
Annexe B (informative) Classification des instruments de mesure du radon et des descendants du radon	52
Annexe C (normative) Installation pour la production des atmosphères de référence contenant des isotopes du radon et leurs descendants (STAR)	56
Annexe D (informative) Méthodes de mesure couramment utilisées	78
Annexe E (normative) Etalonnage et traçabilité des méthodes et des instruments de mesure utilisés dans un STAR	96
Annexe F (informative) Exemples de STAR.....	102
Annexe G (informative) Liste quasi complète des STAR existant dans le monde.....	118
Bibliographie	126
Figure 1 – L'uranium 238 et ses descendants	28
Figure 2 – Le thorium 232 et ses descendants	28
Figure 3 – Constitution d'un STAR	36
Figure A.1 – Distribution granulométrique typique de l'aérosol de l'atmosphère d'une mine souterraine	48
Figure F.1 – Implantation mécanique et aérodynamique	102
Figure F.2 – La chambre à radon du NRPB	110

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
INTRODUCTION	11
Clause	
1 Scope and object	13
2 Normative references	13
3 Terminology and units	15
4 Characteristics of the radioactive elements to be measured	27
5 Instruments used for measuring radon and radon decay products	31
5.1 Criteria for the classification of radon and RnDP measuring instruments	31
5.2 Methods of measuring radon in an atmosphere	31
5.3 Methods of measuring radon decay products in an atmosphere	33
5.4 Range of test parameters	33
6 Need for a reference atmosphere	33
6.1 Usual test methods	33
6.2 Mixtures of radon isotopes	35
6.3 The concept of STAR	35
7 Protocols for testing radon and RnDP measuring instruments	37
7.1 Protocols for testing radon measuring instruments	37
7.2 Protocols for testing RnDP measuring instruments	37
Annex A (informative) Radionuclides in the uranium and thorium series	39
Annex B (informative) Classification of radon and radon decay product measuring instruments	53
Annex C (normative) Equipment for the production of reference atmospheres containing radon isotopes and their decay products (STAR)	57
Annex D (informative) Currently used methods	79
Annex E (normative) Calibration and traceability of measurement methods and instruments used in a STAR	97
Annex F (informative) Examples of STARs	103
Annex G (informative) Nearly complete list of existing radon facilities in the world	119
Bibliography	127
Figure 1 – Uranium 238 and its decay products	29
Figure 2 – Thorium 232 and its decay products	29
Figure 3 – Construction of a STAR	37
Figure A.1 – Particle size distribution typical of the atmosphere in an underground mine	49
Figure F.1 – Mechanical and aerodynamic set-up	103
Figure F.2 – NRPB radon calibration chamber	111

Tableau 1 – Liste des unités	24
Tableau 2 – Liste de radionucléides	26
Tableau A.1 – Caractéristiques des radionucléides de la chaîne de l'uranium 238	40
Tableau A.2 – Caractéristiques des radionucléides de la chaîne du thorium 232.....	42
Tableau A.3 – Caractéristiques physico-chimiques des principaux composants radioactifs d'un environnement atmosphérique.....	44
Tableau B.1 –Types d'instruments utilisés pour la mesure du radon	52
Tableau B.2 – Types d'instruments utilisés pour la mesure des descendants du radon	54
Tableau C.1 – Domaine de fonctionnement d'un STAR (radioactivité).....	68
Tableau C.2 – Conditions de référence et d'essai normalisées	76
Tableau C.3 – Essais avec variation des grandeurs d'influence	76
Tableau D.1 – Diagramme de temps, méthode de Thomas.....	82
Tableau D.2 – Temps de comptage optimaux de la méthode de Thomas optimisés par Hartley	82
Tableau D.3 – Diagramme des temps, méthode de Thomas optimisée par Hartley	84
Tableau D.4 – Coefficients de la méthode de Thomas optimisés par Hartley	84
Tableau D.5 – Diagramme des temps, méthode de Markov	86
Tableau D.6 – Diagramme des temps, méthode de Nazaroff	88
Tableau D.7 – Diagramme des temps, méthode de Hill	90
Tableau D.8 – Diagramme des temps, méthode de Kusnetz	90
Tableau D.9 – Exemple d'un diagramme de temps, méthode de Rolle	94
Tableau F.1 – Instrumentation de la chambre du NRPB	114

Without Charge

Table 1 – List of units	25
Table 2 – List of radionuclides	27
Table A.1 – Uranium 238 nuclide radioactive characteristics	41
Table A.2 – Thorium 232 nuclide radioactive characteristics.....	43
Table A.3 – Physical and chemical properties of the main radioactive components that may be present in an atmospheric environment	45
Table B.1 – Types of instruments used for measuring radon	53
Table B.2 – Types of instruments used for measuring radon decay product.....	55
Table C.1 – Working range of a STAR (radioactivity).....	69
Table C.2 – Reference and standard test conditions.....	77
Table C.3 – Tests with variation of the influence quantities.....	77
Table D.1 – Time diagram, Thomas's method	83
Table D.2 – Optimal counting times of Thomas's method optimised by Hartley	83
Table D.3 – Time diagram, Thomas's method optimized by Hartley	85
Table D.4 – Coefficient of Thomas's method optimized by Hartley.....	85
Table D.5 – Time diagram, Markov's method	87
Table D.6 – Time diagram, Nazaroff's method.....	89
Table D.7 – Time diagram, Hill's method.....	91
Table D.8 – Time diagram, Kusnetz's method	91
Table D.9 – Example of time diagram, Rolle's method.....	95
Table F.1 – Instrumentation of the NRPP chamber.....	115

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – INSTRUMENTS DE MESURE DU RADON ET DES DESCENDANTS DU RADON –

Partie 1: Règles générales

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61577-1 a été établie par le sous-comité 45B: Instrumentation pour la radioprotection, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45B/267/FDIS	45B/276/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.

La CEI 61577 est composée des parties suivantes, sous le titre général: *Instrumentation pour la radioprotection – Instruments de mesure du radon et des descendants du radon*:

- Partie 1: Règles générales
- Partie 2: Exigences spécifiques concernant les instruments de mesure du radon ¹⁾;
- Partie 3: Exigences spécifiques concernant les instruments de mesure des descendants du radon ¹⁾;

¹⁾ A publier.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION –
RADON AND RADON DECAY PRODUCT MEASURING INSTRUMENTS –****Part 1: General requirements**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International standard IEC 61577-1 has been prepared by subcommittee 45B: Radiation protection instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

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

FDIS	Report on voting
45B/267/FDIS	45B/276/RVD

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

IEC 61577 consists of the following parts, under the general title: *Radiation protection instrumentation – Radon and radon decay product measuring instruments*:

Part 1: General requirements;

Part 2: Specific requirements for radon measuring instruments¹⁾;

Part 3: Specific requirements for radon decay product measuring instruments¹⁾;

¹⁾ To be published.

Partie 4: Instruments de mesure rapide de l'énergie alpha potentielle dans les mines¹⁾.

Les parties 2, 3 et 4 doivent être utilisées conjointement avec la présente partie.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Les annexes C et E font partie intégrante de cette norme.

Les annexes A, B, D, F et G sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2004. A cette date, la publication sera

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

Withdrawn

¹⁾ A l'étude. Disponible actuellement sous la référence CEI 61263.

Part 4: Instruments for rapid measurement of potential alpha energy in mines¹⁾.

Parts 2, 3 and 4 are to be read in conjunction with this part.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annexes C and E form an integral part of this standard.

Annexes A, B, D, F and G are for information only.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2004. At this date, the publication will be

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

Withdrawn

¹⁾ Under consideration. Presently available under reference IEC 61263.

INTRODUCTION

Le radon est un gaz radioactif produit par la désintégration du ^{226}Ra et du ^{224}Ra , respectivement les descendants de l' ^{238}U et du ^{232}Th qui sont présents dans les roches de la croûte terrestre. En se désintégrant, les isotopes du radon génèrent deux chaînes de désintégration finissant chacune par un isotope stable du plomb.

Les isotopes du radon et leurs descendants correspondants (RnDP) sont d'une importance considérable puisqu'ils constituent la majeure partie ($\approx 54\%$) de l'exposition des populations à la radioactivité naturelle. Sur certains lieux de travail, comme, par exemple, les mines souterraines, les stations thermales et les installations d'adduction d'eau, les travailleurs sont soumis à des expositions très importantes aux descendants du radon. Ces radionucléides sont présents dans l'air en quantités variables, sous forme de gaz dans le cas des isotopes du radon, et sous forme de particules très fines dans le cas de leurs descendants. Compte tenu du danger connu, lié à l'inhalation de ces radionucléides, qu'ils représentent pour la santé, il importe aux physiciens de la santé de disposer de moyens pour mesurer avec une grande précision le niveau de ce type de radioactivité naturelle dans l'atmosphère. En raison du comportement très particulier de ces éléments radioactifs dans l'atmosphère et dans les instruments de mesure correspondants, il est nécessaire de formaliser la façon de contrôler de tels instruments.

Ces instruments peuvent être de types variés et être classés selon l'utilisation pour laquelle ils sont prévus, (étude des risques pour la santé dans les lieux d'habitation, sur les lieux de travail ou dans les mines, mesures en laboratoire pour la recherche, prospection du minerai d'uranium, surveillance de l'environnement, etc.). L'annexe B en présente une classification détaillée.

La CEI 61577-2, la CEI 61577-3 et la CEI 61263 sont dédiées aux essais respectifs des instruments pour la mesure du radon, des descendants du radon, et des descendants du radon dans les environnements miniers; elles doivent être utilisées conjointement avec la présente partie 1.

WITNESS

INTRODUCTION

Radon is a radioactive gas produced by the decay of ^{226}Ra and ^{224}Ra , respectively decay products of ^{238}U and ^{232}Th which are present in the crustal rocks. By decay, radon isotopes produces two decay chains ended by a stable lead isotope.

Radon isotopes and their corresponding Radon Decay Products (RnDP) are of considerable importance as they constitute the major part ($\approx 54\%$) of the exposure to natural radioactivity for the general public. In some workplaces, also, for instance in underground mines, spas and waterworks, the workers are submitted to a very significant exposure to RnDP. These radionuclides are present in variable quantities in the air, in a gaseous form for the radon isotopes, and as very fine particles for the decay products. Due to the known health hazard linked to the inhalation of these radionuclides, it is worthwhile for health physicists to be able to measure with a great accuracy the level of this kind of natural radioactivity in the atmosphere. Because the very particular behaviour of these radioactive elements in the atmosphere and in the corresponding measuring instruments, it is necessary to formalize the way such instruments could be tested.

These instruments may be of various types and may be classified by their intended use, (i.e. health risk assessment in dwelling, workplaces or in mines, laboratory measurement for research purposes, prospecting for uranium ore, environment monitoring, etc.). A detailed classification is given in annex B.

IEC 61577-2, IEC 61577-3 and IEC 61263 are specialized standards, respectively dedicated to the tests of radon, RnDP and RnDP in mines measuring instruments and are to be used in conjunction with this publication.

Withhold

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – INSTRUMENTS DE MESURE DU RADON ET DES DESCENDANTS DU RADON –

Partie 1: Règles générales

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61577 traite des caractéristiques générales concernant les essais et étalonnages des instruments de mesure du radon et de ses descendants; une importance particulière y est accordée à la définition et à l'utilisation des atmosphères de référence.

Cette norme ne concerne que les isotopes 220 et 222 du radon et leurs descendants à vie courte.

Compte tenu de la très courte période radioactive du radon 219, son activité et celle de ses descendants est considérée comme négligeable en comparaison de l'activité des deux autres séries. Ses effets sur la santé sont donc insignifiants. Sauf mention particulière, le radon 219 ne sera pas concerné par cette norme.

Cette norme ne s'applique donc pas aux installations utilisant de l'uranium enrichi.

Cette norme a pour but d'aider l'utilisateur ou le fabricant à choisir l'instrument le mieux adapté à une application donnée.

Elle a aussi pour vocation d'aider à la définition des essais de type à effectuer pour qualifier ces instruments. Ces essais de type sont décrits dans la CEI 61577-2, la CEI 61577-3 et la CEI 61263.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la CEI 61577. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la CEI 61577 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60050(151):1978, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 151: Dispositifs électriques et magnétiques*
Amendement 1 (1987)

CEI 61263:1994, *Instrumentation pour la radioprotection – Appareil portatif pour la mesure de l'énergie alpha potentielle pour mesures rapides dans les mines*

CEI 61577-2, — *Exigences spécifiques concernant l'instrumentation pour la radioprotection – Instruments de mesure du radon et des descendants du radon – Partie 2: Instruments de mesure du radon*¹⁾

CEI 61577-3, — *Exigences spécifiques concernant l'instrumentation pour la radioprotection – Instruments de mesure du radon et des descendants du radon – Partie 3: Instruments de mesure des descendants du radon*¹⁾

¹⁾ A publier.

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – RADON AND RADON DECAY PRODUCT MEASURING INSTRUMENTS –

Part 1: General requirements

1 Scope and object

This part of IEC 61577 covers the general features concerning tests and calibrations of radon and radon decay product measuring instruments. It emphasizes the definition and use of reference atmospheres.

This standard addresses only the isotopes 220 and 222 of radon and their subsequent short-lived decay products.

Due to the very short half-life of radon 219, its activity and the activity of its RnDP are considered as negligible compared to the activity of the two other series. Its health effects are therefore not important. Unless particularly mentioned, it will not be addressed by this standard.

Thus this standard does not apply to installations where enriched uranium is used.

This standard is intended to help the user or the manufacturer to choose the most appropriate instrument for a given application.

It is also intended to help to define type tests which have to be conducted in order to qualify these instruments. These type tests are described in IEC 61577-2, IEC 61577-3 and IEC 61263.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 61577. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 61577 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60050(151):1978, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*
Amendment 1 (1987)

IEC 61263:1994, *Radiation protection instrumentation – Portable potential alpha energy meter for rapid measurement in mines*

IEC 61577-2, — *Specific requirements for radiation protection instrumentation – Radon and radon decay product measuring instruments – Part 2: Radon measuring instruments* ¹⁾

IEC 61577-3, — *Specific requirements for radiation protection instrumentation – Radon and radon decay product measuring instruments – Part 3: RnDP measuring instruments* ¹⁾

¹⁾ To be published.

3 Terminologie et unités

Pour les besoins de la présente norme, les définitions suivantes s'appliquent.

NOTE 1 Dans l'ensemble de la présente norme, le mot *radon* est utilisé pour désigner tous les isotopes du radon concernés. Un isotope particulier sera indiqué par son symbole chimique précédé de son nombre de masse (par exemple ^{220}Rn , ^{222}Rn).

NOTE 2 Le terme *descendant du radon* ou son abréviation (RnDP) représente l'ensemble des descendants à vie courte. Un isotope particulier est indiqué par son symbole chimique précédé de son nombre de masse. Les indices 220, 222 ajoutés à l'abréviation RnDP désignent tous les descendants de l'isotope du radon correspondant (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po), (^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{212}Po , ^{208}Tl).

3.1

activité volumique

activité d'un radionucléide contenu dans un volume unité

3.2

énergie alpha potentielle (EAP)

énergie alpha totale émise pendant la désintégration d'un atome de RnDP le long de la chaîne jusqu'au ^{210}Pb ou ^{208}Pb respectivement pour les chaînes de ^{238}U et du ^{232}Th .

Si N_{xxxXx} est le nombre d'atomes de $^{\text{xxx}}\text{Xx}$,

$$\text{EAP}_{222} = [(6,003 + 7,687) \times N_{218\text{Po}} + 7,687 \times (N_{214\text{Pb}} + N_{214\text{Bi}})] \times 1,602 \times 10^{-13} \quad (\text{J})$$

$$\text{EAP}_{220} = [(6,779 + 7,804) \times N_{216\text{Po}} + (7,804 \times (N_{212\text{Pb}} + N_{212\text{Bi}})) + (8,785 \times N_{212\text{Po}})] \times 1,602 \times 10^{-13} (\text{J})$$

NOTE EAP_{222} et EAP_{220} sont toujours calculées ou mesurées séparément puisqu'une EAP, étant un indicateur de risque sanitaire, est liée directement aux limites annuelles d'inhalation (LAI) qui sont différentes pour RnDP₂₂₂ et RnDP₂₂₀.

3.3

énergie alpha potentielle volumique (EAPv)

énergie alpha potentielle des RnDP présente dans un volume unité de l'atmosphère étudiée

3.4

exposition à l'énergie alpha potentielle volumique (Ex_{EAPv})

intégrale de l'EAPv sur le temps d'exposition

$$\text{Ex}_{\text{EAPv}} = \int_{\text{exposition}} \text{EAPv} \cdot dt$$

3.5

activité volumique équivalente du radon en équilibre (EEC_{Rn})

activité volumique du radon en équilibre radioactif avec ses RnDP qui a la même énergie alpha potentielle que le mélange non à l'équilibre auquel l' EEC_{Rn} fait référence

3.6

facteur d'équilibre

rapport F entre l' EEC_{Rn} et l'activité volumique réelle du radon dans l'atmosphère étudiée

3.7

rapport d'équilibre (ou fraction d'équilibre)

rapport entre l'activité d'un descendant du radon donné et l'activité de l'isotope du radon parent dans l'atmosphère étudiée

3 Terminology and units

For the purpose of this standard, the following definitions apply.

NOTE 1 Throughout the whole document, the term *radon* is used to denote all the radon isotopes which are concerned by this standard. When a particular isotope is to be referred to, it will be indicated by its chemical symbol preceded by its mass number (e.g. ^{220}Rn , ^{222}Rn).

NOTE 2 The term *radon decay product* or its abbreviation (RnDP) denotes the whole set of short-lived decay products which are concerned by this standard. A particular isotope is indicated by its chemical symbol preceded by its mass number. The subscripts 220, 222 added to the symbol RnDP refer to the whole set of decay products of the corresponding radon isotope (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po), (^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{212}Po , ^{208}Tl).

3.1

volume activity

the activity of a radionuclide contained in a unit volume

3.2

potential alpha energy (PAE)

the total alpha energy emitted during the decay of an RnDP atom along the decay chain up to ^{210}Pb or ^{208}Pb respectively for the decay chains of the ^{238}U and ^{232}Th .

If N_{xxxXx} is the number of $^{\text{xxx}}\text{Xx}$ atoms,

$$\text{PAE}_{222} = [(6,003 + 7,687) \times N_{218\text{Po}} + 7,687 \times (N_{214\text{Pb}} + N_{214\text{Bi}})] \times 1,602 \times 10^{-13} \text{ (J)}$$

$$\text{PAE}_{220} = [(6,779 + 7,804) \times N_{216\text{Po}} + (7,804 \times (N_{212\text{Pb}} + N_{212\text{Bi}})) + (8,785 \times N_{212\text{Po}})] \times 1,602 \times 10^{-13} \text{ (J)}$$

NOTE PAE_{222} and PAE_{220} are always calculated or measured separately since a PAE as an indicator of health risk is directly linked to the Annual Limits of Intake (ALI) which are different for RnDP₂₂₂ and RnDP₂₂₀.

3.3

volume potential alpha energy (or Potential Alpha Energy Concentration (PAEC))

the potential alpha energy of the RnDP present in a unit volume of the atmosphere being studied

3.4

exposure to volume potential alpha energy (Ex_{PAEC})

the integral of PAEC over time of exposure

$$\text{Ex}_{\text{PAEC}} = \int_{\text{exposure}} \text{PAEC} \cdot dt$$

3.5

equilibrium equivalent radon volume activity (EEC_{Rn})

the volume activity of radon in radioactive equilibrium with its RnDP that has the same potential alpha energy as the non-equilibrium mixture to which the EEC_{Rn} refers

3.6

equilibrium factor

the ratio F between the EEC_{Rn} and the actual radon volume activity in the atmosphere under examination

3.7

equilibrium ratio (or equilibrium fraction)

the ratio between the activity of a given radon decay product and the activity of the parent radon isotope in the atmosphere under investigation

3.8

exposition au radon (Ex_{AvRn})

intégrale sur le temps d'exposition d'un individu à l'activité volumique du radon

$$Ex_{AvRn} = \int_{\text{exposition}} Av_{Rn} \cdot dt$$

3.9

coefficient d'émanation (τ)

rapport entre le nombre d'atomes de radon (n) transférés dans l'espace occupé par les pores d'un matériau et le nombre (N) d'atomes de radon présents dans la totalité du matériau, y compris l'espace des pores,

$$\tau = n/N$$

3.10

taux d'émanation

valeur de l'activité des atomes de radon quittant un corps par unité de temps et de masse

3.11

taux d'exhalaison

valeur de l'activité des atomes de radon quittant un corps par unité de temps et de surface

3.12

déconvolution

traitement mathématique d'un ensemble de données constituant un résultat de mesure (par exemple un nombre d'impulsions totalisées), permettant, par l'usage d'un ensemble particulier d'équations, d'obtenir la valeur de la grandeur à mesurer

3.13

aérosols

suspension dans l'air de particules fines solides ou liquides. Les dimensions de l'aérosol porteur auquel la plupart des RnDP sont attachés, varient généralement entre 0,1 μm et 0,3 μm . Les dimensions qui sont généralement prises en compte pour la radioprotection varient entre 0,01 μm et 10 μm

3.14

diamètre aérodynamique médian en activité (AMAD)

médiane de la distribution en activité des diamètres de sphères de densité unité ($1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) qui ont la même vitesse limite de chute que les particules de l'aérosol considéré

3.15

fraction libre

il se peut qu'une fraction des RnDP ne soit pas attachée à l'aérosol; cette grandeur est souvent appelée fraction libre ou non attachée. La fraction libre est définie, pour un radionucléide donné, comme le rapport entre l'activité des atomes non attachés et l'activité de l'isotope du radon considéré. La taille des particules concernées est de l'ordre de 1 nm

3.16

fraction attachée

rapport, pour un radionucléide donné, entre l'activité des atomes radioactifs attachés à des particules d'aérosol et l'activité de l'isotope du radon concerné

3.8**exposure to radon (Ex_{AvRn})**

the integral over time of the radon volume activity to which an individual is exposed

$$Ex_{AvRn} = \int_{\text{exposure}} Av_{Rn} \cdot dt$$

3.9**emanating power (or emanation coefficient) (τ)**

the ratio between the number of radon atoms (n) transferred in the space occupied by the pores of the material and the number (N) of radon atoms present in the material itself, including the pores space

$$\tau = n/N$$

3.10**emanation rate**

the value of the activity of radon atoms leaving a body per unit time and per unit mass

3.11**exhalation rate**

the value of the activity of radon atoms leaving a body per unit time and per unit surface

3.12**deconvolution**

mathematical treatment of a set of data resulting from a measurement (i.e. counted events) allowing, through the use of a particular set of equations, to get the value of the original quantity to be measured

3.13**aerosols**

suspension of fine solid or liquid particles in air. The sizes of the carrier aerosol, to which most of RnDP are attached, are generally in the 0,1 μm to 0,3 μm range. The dimensions generally taken into account for radiation protection purposes are in the range of 0,01 μm to 10 μm

3.14**activity median aerodynamic diameter (AMAD)**

the median of the activity distribution of diameters of the unit density ($1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) spheres that have the same settling velocity as the aerosol particle concerned

3.15**unattached fraction**

a fraction of RnDP may not become attached to airborne particles and this quantity is often referred to as the free or unattached fraction. The unattached fraction is defined, for a given radionuclide, by the ratio of the activity of the unattached atoms to the activity of the concerned radon isotope. The particle size concerned is of the order of magnitude of 1 nm

3.16**attached fraction**

for a given radionuclide, the ratio of the activity of the radioactive atoms attached to airborne particles to the activity of the concerned radon isotope

3.17

méthode de mesure directe

méthode de mesure qui mesure, sans perturbation, une propriété physique ou radioactive du radionucléide concerné (par exemple la mesure du ^{222}Rn par détection de sa désintégration alpha à 5,490 MeV)

3.18

méthode de mesure indirecte

méthode de mesure qui permet d'estimer la mesure d'un radionucléide par une combinaison de données acquises à partir des propriétés physiques ou radioactives du parent ou des descendants du radionucléide concerné (par exemple une estimation de l'énergie alpha potentielle volumique obtenue en calculant les équations de la désintégration, compte tenu de la période radioactive des descendants)

3.19

prélèvement ponctuel

prélèvement (d'air contenant du radon ou des particules d'aérosol) pendant une période de temps considérée comme courte comparée aux fluctuations de la grandeur étudiée (par exemple l'activité volumique de l'air)

3.20

méthode de mesure en continu

méthode qui permet un enregistrement en continu de la valeur de la grandeur à mesurer, pendant une période de temps définie, et avec une résolution temporelle adaptée au phénomène à étudier

3.21

méthode intégrée

méthode qui repose sur la mesure de l'intégrale sur une période définie de prélèvement et de mesure de la grandeur à étudier

3.22

taux d'émission surfacique d'une source

nombre de particules alpha ou bêta émises de la surface de la source, par unité de temps

3.23

source de contrôle

source radioactive (étalon secondaire) utilisée pour la vérification des performances d'un instrument de mesure

3.24

source de vérification

source radioactive utilisée pour la vérification du bon fonctionnement d'un instrument de mesure

3.25

source de référence

source radioactive qui est traçable à un étalon reconnu

3.26

atmosphère de référence

atmosphère dans laquelle les paramètres d'influence (aérosols, radioactivité, climat, etc.) sont suffisamment bien connus ou contrôlés pour permettre son utilisation dans une procédure pour l'essai d'instruments de mesure du radon ou des descendants du radon. Les valeurs des paramètres concernés doivent être traçables à des étalons reconnus

3.17**direct method of measurement**

a method of measurement which measures, without any disturbance, a physical or radioactive property of the radionuclide concerned (i.e. measurement of ^{222}Rn by detection of its alpha decay at 5,490 MeV)

3.18**indirect method of measurement**

a method of measurement which allows an estimation of the measure of a radionuclide by combination of data gained from the physical or radioactive properties of the parent or of the decay products of the radionuclide concerned (i.e. estimation of volume potential alpha energy by calculation of the decay equations, knowing the half-life of the decay products)

3.19**grab sampling**

the collection of a sample (of air containing radon or aerosol particles) during a period considered short compared with the fluctuations of the quantity under study (i.e. volume activity of the air)

3.20**continuous method of measurement**

a method which ensures a continuous recording of the parameter to be measured, over a defined period of time, and with a time resolution adapted to the phenomenon to be studied

3.21**integrating method**

a method which relies on the measurement of the integral over a defined sampling and measurement time of the quantity under study

3.22**surface emission rate of a source**

the number of alpha or beta particles emerging from the front face of the source in unit time

3.23**test source**

a radioactive source (secondary standard) used for testing the performances of a measuring instrument

3.24**check source**

a radioactive source used for checking the proper operation of a measuring instrument

3.25**reference source**

a radioactive source which is traceable to a recognized standard

3.26**reference atmosphere**

a radioactive atmosphere in which the influencing parameters (aerosols, radioactivity, climatic, etc.) are sufficiently well-known or controlled to allow its use in a testing procedure for radon or RnDP measuring instruments. The parameter values concerned shall be traceable to recognized standards

3.27

source solide de RnDP

dépôt d'un radionucléide parent (^{226}Ra , par exemple) qui, l'émanation du radon ayant été bloquée par des moyens physiques (par exemple en l'encapsulant sous une couche de résine synthétique ou une couche métallique mince évaporée sous vide), permet à son isotope du radon d'atteindre un certain état d'équilibre avec lui. Les RnDP qui sont formés sont alors mis en équilibre avec le radon emprisonné

NOTE Il est souvent très difficile de garantir la stabilité d'une telle source sur une longue période de temps.

3.28

filtres à particules à haute efficacité (filtres HEPA)

filtres utilisés pour le prélèvement de particules d'aérosol avec une efficacité minimum de 99,97% pour une taille de particule de $0,3\ \mu\text{m}$

3.29

étalon absolu de référence

étalon dont la valeur est directement liée aux unités primaires: temps, masse, longueur, ...

3.30

étalon primaire

étalon qui possède les plus hautes qualités métrologiques dans un domaine spécifié (par exemple, qui est directement raccordée à une ou plusieurs des principales grandeurs de mesure: temps, longueur, masse, ...)

3.31

étalon secondaire (ou étalon de transfert)

étalon dont la valeur est fixée par comparaison avec un étalon primaire

3.32

débit massique

masse d'un gaz s'écoulant dans un conduit pendant une unité de temps

3.33

débit volumique

volume d'un gaz s'écoulant dans un conduit pendant une unité de temps

3.34

caractéristiques d'une atmosphère normale

conditions climatiques qui correspondent à une température de $0\ ^\circ\text{C}$ et à une pression atmosphérique de $101\,325\ \text{Pa}$ (pression atmosphérique au niveau de la mer). D'habitude, les volumes de gaz ou les débits volumiques sont normalisés à ces conditions

3.35

temps de réponse

délai entre l'exposition initiale de l'ensemble de détection à une valeur donnée de la grandeur mesurée et l'obtention de 90 % de la lecture finale, ou dans le cas des assemblages intégrateurs, 90 % de la valeur finale de la dérivée première par rapport au temps de l'indication

3.36

temps de mise à l'équilibre en température de l'électronique

temps nécessaire à un instrument de mesure, après avoir été mis sous tension, pour afficher une valeur s'éloignant de moins de 10 % de la valeur conventionnellement vraie

3.27**solid source of RnDP**

a deposit of a parent radionuclide (^{226}Ra , for example) allowing, by blocking the radon emanation using physical means (e.g. encapsulation using a synthetic resin or a vacuum evaporated thin metal layer), its radon isotope to reach a certain state of equilibrium with it. The RnDP which are formed are then put into equilibrium with the trapped radon

NOTE It is generally very difficult to ensure that such a source remains stable over a long period of time.

3.28**high efficiency particle filters (HEPA filters)**

filters used for the collection, with a minimum efficiency 99,97 % for a particle size of $0,3\ \mu\text{m}$, of aerosol particles

3.29**absolute reference standard**

a standard whose value is directly linked to the primary units: time, mass, length, ...

3.30**primary standard**

a standard which has the highest metrological qualities in a specified field (i.e. is directly traceable to one or more of the main measuring quantities, that is to time, length, mass, ...)

3.31**secondary standard (or transfer standard)**

a standard whose value is fixed by comparison with a primary standard

3.32**mass flow rate**

the mass of a gas flowing in a conduit during a unit of time

3.33**volume flow rate**

the volume of gas flowing in a conduit during a unit of time

3.34**atmospheric standard conditions**

climatic conditions corresponding to a temperature of $0\ ^\circ\text{C}$ and a pressure of $101\ 325\ \text{Pa}$ (atmospheric pressure at sea level). Volume of gas or volume flow rate are generally normalized to these standard conditions

3.35**response time**

the time delay between initial exposure of the detection assembly to a given value of the measured quantity and the attainment of 90 % of the equilibrium reading, or for integrating (slope) assemblies, 90 % of the equilibrium value of the first derivative of the indication, with respect to time

3.36**electronic warm-up time**

time needed after applying power, for a measuring instrument, for the indicated value to reach a value departing less than 10 % from the conventionally true value

3.37

valeur conventionnellement vraie d'une grandeur

meilleure estimation de la valeur réelle d'une grandeur utilisée pour l'étalonnage des instruments; cette grandeur et son incertitude seront déterminées à l'aide d'un étalon primaire ou secondaire, ou d'un instrument de référence qui aura été étalonné par rapport à un étalon primaire ou secondaire

3.38

erreur d'indication

différence entre la valeur indiquée et la valeur conventionnellement vraie au point de mesure

3.39

erreur d'indication relative

quotient, exprimé en pourcentage, de l'erreur d'indication par la valeur conventionnellement vraie

3.40

erreur relative intrinsèque

erreur d'indication relative d'un ensemble par rapport à une valeur spécifiée sous des conditions de référence spécifiées

3.41

seuil de décision

valeur du signal net en dessous duquel il n'est pas possible d'affirmer que la valeur conventionnellement vraie n'est pas zéro

3.42

limite de détection (ou activité minimale détectable)

plus petite valeur de la grandeur mesurée pour laquelle la méthode de mesure permet d'assurer qu'elle n'est pas nulle. Dans les calculs statistiques classiques, la limite de détection correspond à $\approx 50\%$ d'incertitude relative (3σ)

3.43

coefficient de variation

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

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

3.44

réponse de référence

réponse de l'assemblage, soit au débit d'émission venant d'une source solide de référence, soit à l'atmosphère de référence, dans des conditions d'essai standard

Elle est exprimée par:

$$R_{ref} = (I_{rs} - I_b) / Q_{rs}$$

où

I_{rs} est l'indication due à la source de référence ou à l'atmosphère de référence;

I_b est l'indication due au bruit de fond;

Q_{rs} est la valeur conventionnellement vraie de la source de référence ou de l'activité de l'atmosphère de référence.

3.37**conventionally true value of a quantity**

the best estimate of the true value of the quantity used for calibration of equipment; this quantity and its uncertainty shall be determined from a primary or secondary standard, or by a reference instrument which has been calibrated against a primary or secondary standard

3.38**error of indication**

the difference between the indicated value and the conventionally true value at the point of measurement

3.39**relative error of indication**

the quotient, expressed as a percentage, of the error of indication by the conventionally true value

3.40**relative intrinsic error**

the relative error of indication of an assembly with respect to a specified value under specified reference conditions

3.41**lower limit of detection (or critical level)**

the level of the net signal under which it is not possible to assess that the conventionally true value is not zero

3.42**detection limit (or minimum detectable activity)**

the smallest value of the measured quantity which the method of measurement allows to be sure not to be zero. In statistical calculations used, the detection limit corresponds to $\approx 50\%$ of relative uncertainty (3σ)

3.43**coefficient of variation**

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

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

3.44**reference response**

the response of the assembly under standard test conditions either to reference solid-source emission rate or reference atmosphere

It is expressed as:

$$R_{ref} = (I_{rs} - I_b) / Q_{rs}$$

where

I_{rs} is the indication due to reference source or reference atmosphere;

I_b is the indication due to radiation background;

Q_{rs} is the conventionally true value of reference source or reference atmosphere activity.

3.45

essais de qualification

essais effectués afin de vérifier que les exigences d'une spécification sont remplies

Les essais de qualification sont subdivisés en essais de type et essais individuels de série

3.45.1

essai de type

essai effectué sur un ou plusieurs dispositifs réalisés selon une conception donnée pour vérifier que cette conception répond à certaines spécifications [VEI 151-04-15]

3.45.2

essai individuel de série

essai auquel est soumis chaque dispositif en cours ou en fin de fabrication pour vérifier qu'il satisfait à des critères définis [VEI 151-04-16]

3.46

essai de réception

essai contractuel ayant pour objet de prouver au client que le dispositif répond à certaines conditions de sa spécification [VEI 151-04-20]

3.47

unités

La présente norme utilise le système international d'unités (SI)

Tableau 1 – Liste des unités

Grandeur	Unité*
Activité volumique de l'air	Bq·m ⁻³
Energie alpha potentielle volumique	J·m ⁻³
Exposition au radon	Bq·h·m ⁻³
Exposition à l'EAP	J·h·m ⁻³
Activité volumique du radon équivalente à l'équilibre	Bq·m ⁻³
Taux d'émanation	Bq·s ⁻¹ ·kg ⁻¹
Taux d'exhalaison	Bq·s ⁻¹ ·m ⁻²
* Quelques unités «non standard» sont parfois encore utilisées: Ci, unité d'activité égale à $3,7 \times 10^{10}$ Bq Working Level (WL), unité d'énergie alpha potentielle volumique égale à $20,8 \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$. Working Level Month (WLM), unité d'exposition à l'énergie alpha potentielle égale à $3,6 \text{ mJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$ EEC, unité d'énergie alpha potentielle volumique égale à: $5,62 \times 10^{-3} \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ for RnDP₂₂₂ $75,8 \times 10^{-3} \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ for RnDP₂₂₀ MeVα·l⁻¹, unité d'énergie alpha potentielle volumique égale à $1,6 \times 10^{-4} \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$	

3.45**qualification tests**

qualification tests are performed in order to verify that the requirements of a specification are fulfilled

Qualification tests are subdivided into type tests and routine tests

3.45.1**type test**

a test of one or more devices made to a certain design to show that the design meets certain specifications [IEV 151-04-15]

3.45.2**routine test**

a test to which each individual device is subjected during or after manufacture to ascertain whether it complies with certain criteria [IEV 151-04-16]

3.46**acceptance test**

a contractual test to prove to the customer that the device meets certain conditions of its specifications [IEV 151-04-20]

3.47**units**

This standard uses the International System of Units (SI)

Table 1 – List of units

Quantity	Unit*
Volume activity of air	Bq·m ⁻³
Volume potential alpha energy	J·m ⁻³
Exposure to radon	Bq·h·m ⁻³
Exposure to PAEC	J·h·m ⁻³
Equilibrium equivalent radon volume activity	Bq·m ⁻³
Emanation rate	Bq·s ⁻¹ ·kg ⁻¹
Exhalation rate	Bq·s ⁻¹ ·m ⁻²
* Some "non-standard" units are still sometimes used: Ci, a unit of activity equal to $3,7 \times 10^{10}$ Bq Working Level (WL), a unit of volume potential alpha energy equal to 20,8 µJ·m ⁻³ . Working Level Month (WLM), a unit of exposure to potential alpha energy equal to 3,6 mJ·h·m ⁻³ EEC, a unit of volume potential alpha energy equal to: $5,62 \times 10^{-3}$ µJ·m ⁻³ for RnDP ₂₂₂ $75,8 \times 10^{-3}$ µJ·m ⁻³ for RnDP ₂₂₀ MeVα·l ⁻¹ , a unit of volume potential alpha energy equal to $1,6 \times 10^{-4}$ µJ·m ⁻³	

4 Caractéristiques des éléments radioactifs à mesurer

Une description des propriétés physiques et chimiques des éléments radioactifs à mesurer est fournie à la fin de cette partie dans l'annexe A.

Les figures 1 et 2 présentent les chaînes de désintégration de l'uranium et du thorium, en insistant sur les isotopes du radon et leurs descendants correspondants. Les principaux types de désintégration sont aussi indiqués. Le tableau 2 donne la liste des radionucléides concernés par la présente norme.

Tableau 2 – Liste de radionucléides

Chaîne ^{238}U	Chaîne ^{232}Th
^{222}Rn	^{220}Rn
^{218}Po	^{216}Po
^{214}Pb	^{212}Pb
^{214}Bi	^{212}Bi
^{214}Po	^{212}Po
	^{208}Tl

Les tableaux A.1, A.2 et A.3 de l'annexe A donnent une description plus complète des propriétés de ces radionucléides.

4 Characteristics of the radioactive elements to be measured

A description of the physical and chemical properties of the radioactive elements which have to be measured is given in annex A.

The figures 1 and 2 show the decay chains of both uranium and thorium, with highlight on the radon isotopes and corresponding RnDP. The major decay types are also indicated. Table 2 summarizes the list of radionuclides concerned by this standard.

Table 2 – List of radionuclides

²³⁸ U chain	²³² Th chain
²²² Rn	²²⁰ Rn
²¹⁸ Po	²¹⁶ Po
²¹⁴ Pb	²¹² Pb
²¹⁴ Bi	²¹² Bi
²¹⁴ Po	²¹² Po
	²⁰⁸ Tl

Tables A.1, A.2 and A.3 give a more complete description of the properties of these radionuclides.

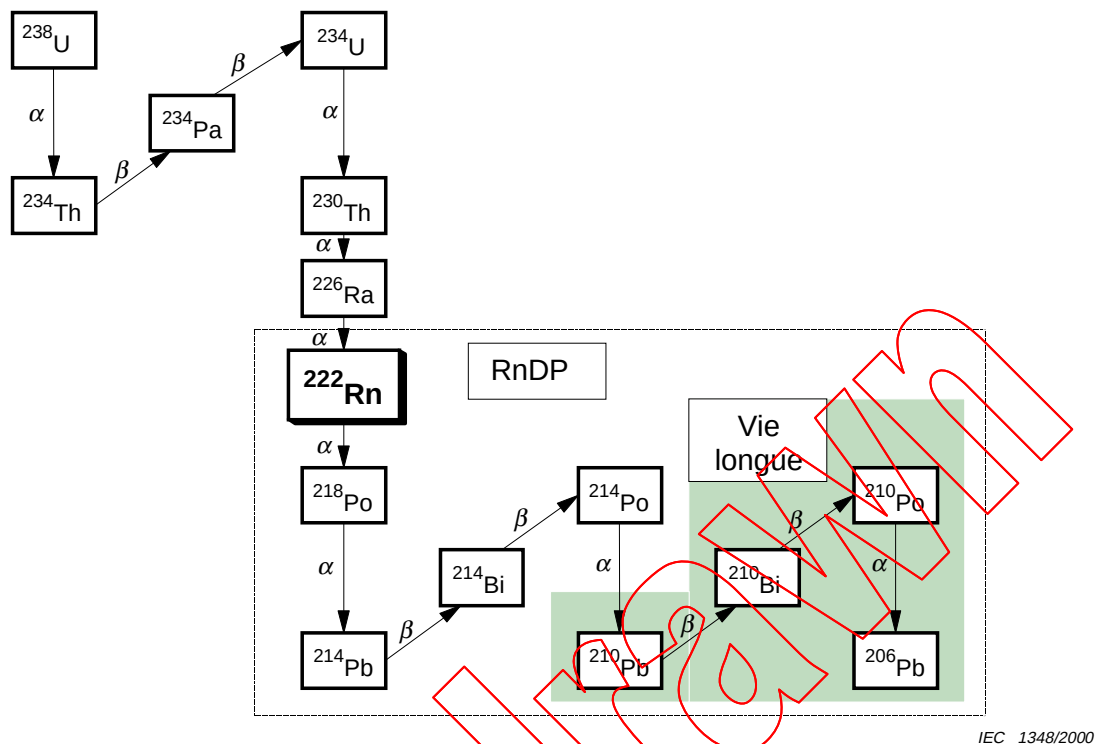


Figure 1 – L'uranium 238 et ses descendants

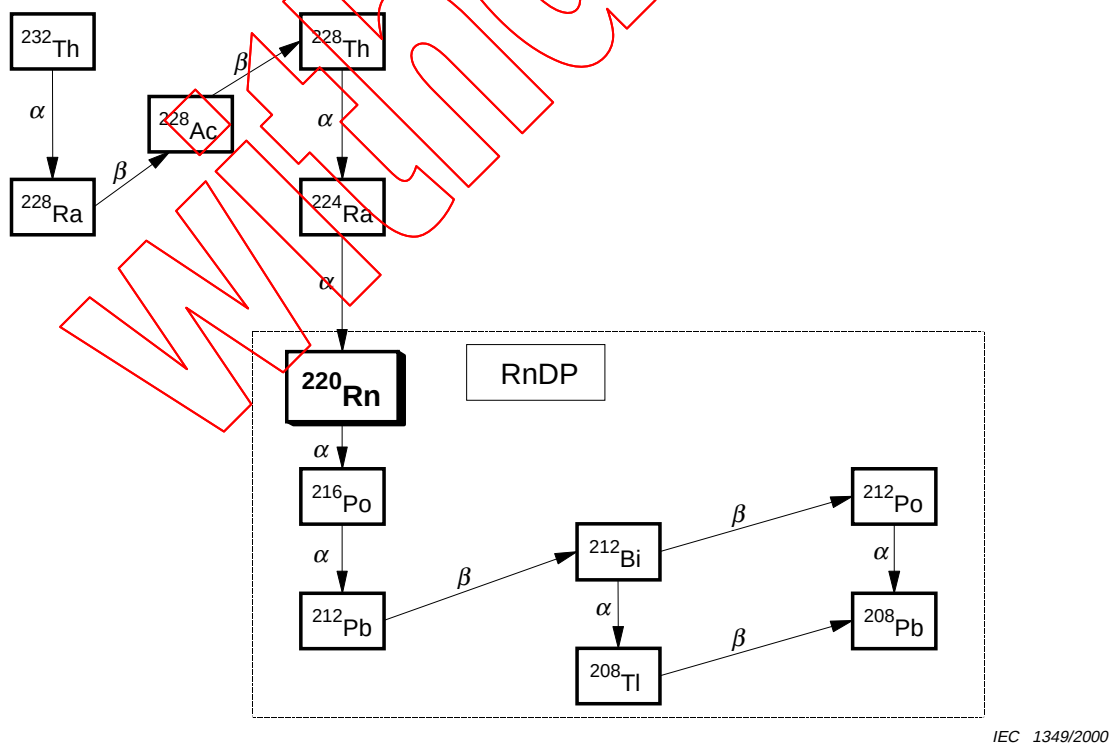


Figure 2 – Le thorium 232 et ses descendants

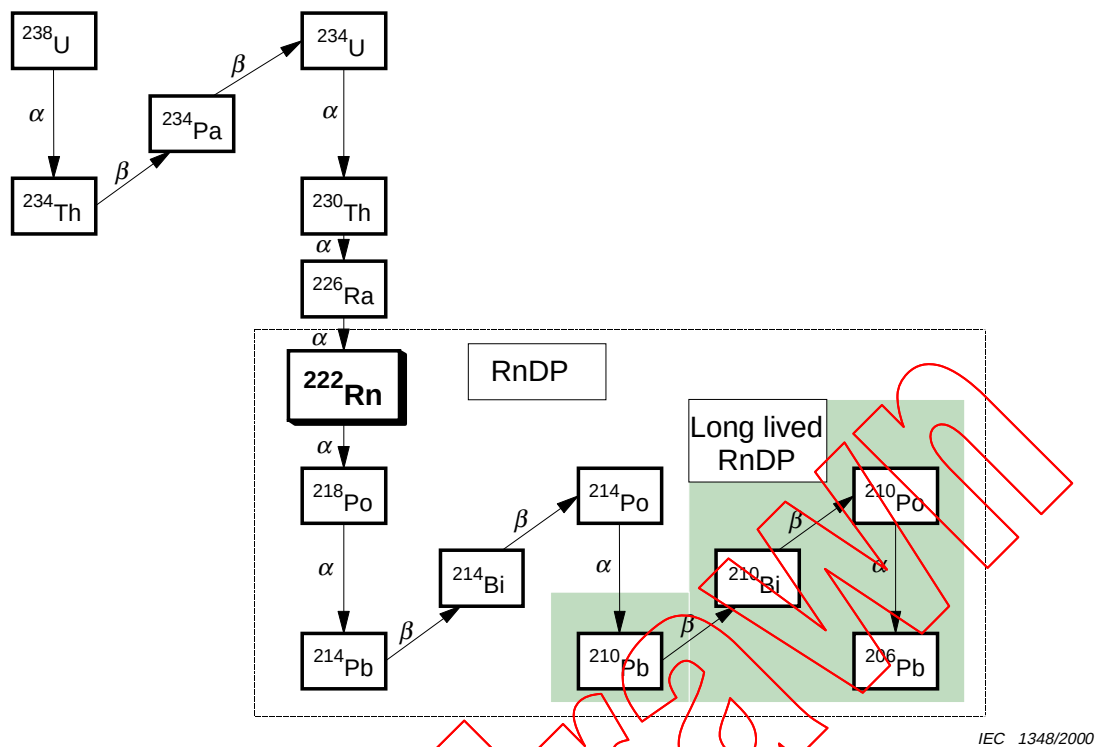


Figure 1 – Uranium 238 and its decay products

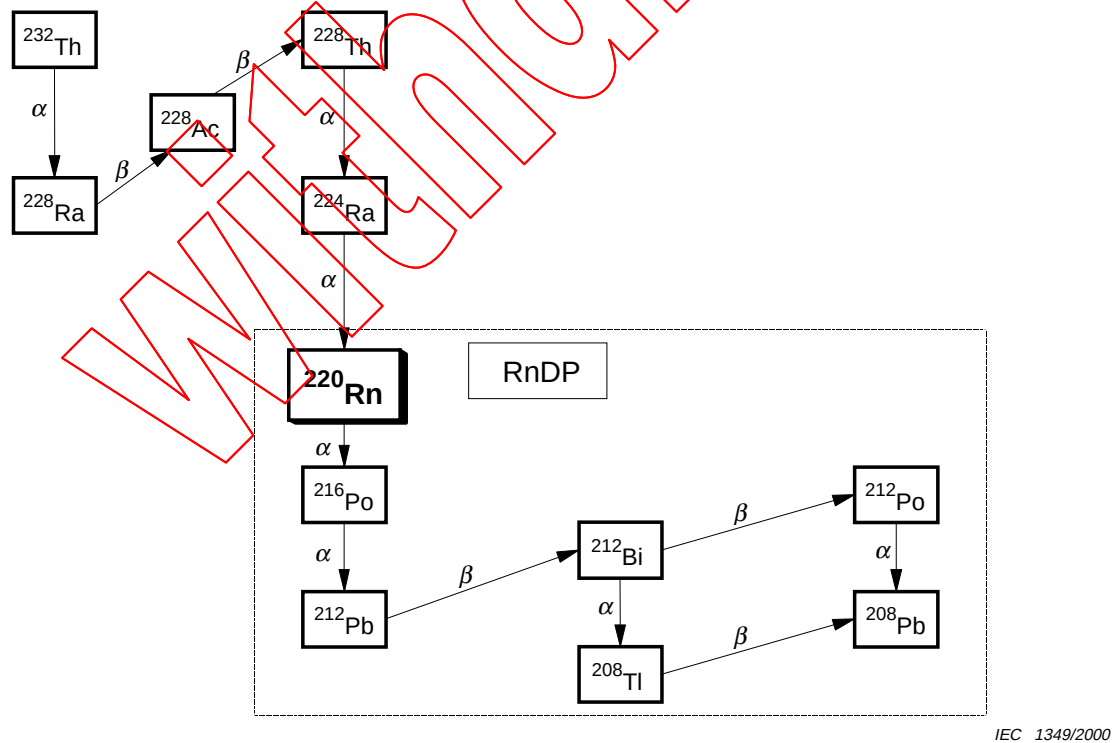


Figure 2 – Thorium 232 and its decay products

5 Instruments utilisés pour la mesure du radon et des descendants du radon

Les instruments utilisés pour la mesure des isotopes du radon ou des RnDP constituent une classe particulière d'instruments de mesure de la radioactivité. Compte tenu de la nature de la radioactivité à mesurer, il est nécessaire de les décrire, non seulement par leurs performances, mais aussi par leur utilisation potentielle et/ou leurs principes de mesure.

En ce qui concerne le cas particulier de la mesure du radon et de ses descendants, la méthode de mesure et l'instrument utilisé pour effectuer la mesure sont souvent étroitement liés. Sauf indication contraire, l'expression *méthode de mesure* sera donc utilisée dans le reste du texte comme terme générique pour la méthode de mesure et l'instrument associé.

Cette phrase implique que, pour une *méthode de mesure* dans laquelle il y a séparation entre la détection et l'analyse, l'ensemble du système de mesure doit être pris en compte.

5.1 Critères pour la classification des instruments de mesure du radon et de ses descendants

Les instruments de mesure concernés par la présente norme peuvent être classés dans plusieurs groupes selon les critères pris en compte. La méthode de mesure utilisée est d'habitude associée à ce groupe.

Les critères le plus souvent utilisés pour classer ces instruments de mesure sont les suivants (voir tableaux B.1 et B.2):

- type d'application (à l'extérieur, dans les mines, etc.);
- durée de prélèvement (prélèvement ponctuel, prélèvement intégré, prélèvement en continu);
- méthode de prélèvement (diffusion, pompage, etc.);
- méthode de comptage (alpha global, spectrométrie, intégrée, etc.);
- méthode de détection (détecteur silicium, scintillateur, détecteurs solides de trace, chambre d'ionisation, etc.);
- méthode de calcul (déconvolution des équations de désintégration, spectroscopie, etc.);
- détection directe ou indirecte;
- gamme de mesure;
- possibilités de recyclage (pièces jetables, remplacement des filtres, etc.).

Les méthodes décrites sont celles utilisées par les instruments concernés par la présente norme; elles concernent soit les instruments de référence utilisés pour la qualification des atmosphères de référence (voir annexe C), soit les instruments à essayer selon la présente norme (voir CEI 61577-2 et CEI 61577-3).

NOTE Dans l'ensemble de la présente norme, il est important de ne pas confondre la méthode de mesure utilisée dans l'instrument en essai et la méthode de mesure utilisée comme méthode de référence pour la définition de l'atmosphère de référence, bien qu'elles puissent être les mêmes.

5.2 Méthodes de mesure du radon dans une atmosphère

Les méthodes décrites dans le tableau B.1 sont celles couramment utilisées pour les instruments de mesures concernés par la présente norme, ainsi que pour les essais qui utilisent des atmosphères de référence et qui font l'objet de la majeure partie de cette norme.

Lorsqu'elles sont basées sur la seule mesure de l'émission alpha propre aux isotopes du radon, avec ou sans prélèvement, ces méthodes peuvent être considérées comme des méthodes de mesure directes.

5 Instruments used for measuring radon and radon decay products

The instruments used for the measurement of radon isotopes or of RnDP constitute a special class of radioactivity measuring instruments. Due to the nature of the radioactivity to be measured, they need to be described, not only by their performances, but also by their potential use and/or their principles of measurement.

In the special case of radon and RnDP measurements, the method of measurement and the device used to make the measurement are often very closely linked. The expression *method of measurement* will therefore be used in the rest of the text as a generic term for both the method of measurement and the associated device used to carry it out, except when there is a specific indication to the contrary.

This sentence implies that, for *method of measurement* consisting of separated detection and analysis, the whole measuring system shall be considered.

5.1 Criteria for the classification of radon and RnDP measuring instruments

The measuring instruments concerned by this standard can be separated into various groups depending on the criteria taken into account. The method of measurement used is generally related to this group.

The criteria which are commonly used for classification of these measuring instruments are as follows (see tables B.1 and B.2):

- type of application (i.e. outdoor, mines, etc.);
- duration of sampling (i.e. grab sampling, integrated sampling, continuous sampling);
- method of sampling (i.e. diffusion, pumping, etc.);
- method of counting (i.e. gross alpha, spectrometric, integrating, etc.);
- method of detection (silicon detector, scintillator, SSNTD, ionization chamber, etc.);
- method of calculation (deconvolution of decay equations, spectroscopy, etc.);
- direct or indirect detection;
- working range;
- suitability for reuse (disposable equipment, filter exchange, etc.).

The methods described are those used by the instruments concerned by this standard; they refer either to the reference instruments used for the qualification of the reference atmospheres (see annex C) or to the instruments to be tested according to this standard (see IEC 61577-2 and IEC 61577-3).

NOTE Throughout the whole document, care must be taken not to get confused between the method of measurement implemented in the instrument under test and the method of measurement used as a reference method for defining the reference atmosphere, although it could be the same.

5.2 Methods of measuring radon in an atmosphere

The methods listed in table B.1 are those currently in use in the measuring instruments concerned by this standard, and are those which are involved in the tests with reference atmospheres and which form the subject of the major part of this standard.

When based on the measurement of the alpha radiation from radon isotopes themselves, with or without sampling, these methods can be considered as direct methods.

Les méthodes de mesure basées:

- soit sur la mesure du radon et de ses descendants placés dans un état d'équilibre connu;
- soit sur la seule mesure des descendants, un calcul, prenant en compte l'état d'équilibre et les lois de la désintégration radioactive, permettant alors de remonter à la valeur de l'activité volumique du radon,

sont toujours considérées comme méthodes de mesure indirectes.

5.3 Méthodes de mesure des descendants du radon dans une atmosphère

Les méthodes décrites dans le tableau B.2 sont celles qui sont utilisées actuellement couramment dans les instruments à contrôler, et peuvent aussi servir à réaliser des essais utilisant des atmosphères de référence.

NOTE Les méthodes qui reposent sur des prélèvements d'aérosols entraînent toujours des perturbations de la grandeur à mesurer (par pertes d'aérosol, enrichissement ou diminution de la concentration en aérosols causé par les modifications d'écoulement devant l'ouverture de prélèvement, etc.).

La majorité des méthodes courantes de mesure des RnDP sont des méthodes de mesure indirectes basées sur un prélèvement.

5.4 Gamme de paramètres d'essai

Les gammes des paramètres pour réaliser les essais des différents types d'instruments sont données dans la CEI 61577-2, la CEI 61577-3 et la CEI 61263.

6 Nécessité d'une atmosphère de référence

6.1 Méthodes d'essai usuelles

Les essais des instruments de mesure du radon et de ses descendants sont souvent effectués en utilisant des sources de référence solides ou gazeuses qui sont composées d'un radionucléide bien défini dont l'activité est connue de façon précise: par exemple, les sources solides électrodéposées de ^{241}Am , ^{239}Pu mises en œuvre pour essayer les appareils utilisant la mesure des émissions α , les sources de ^{137}Cs , ou ^{90}Sr pour les essais des instruments utilisant la mesure des émissions β , et les sources gazeuses de ^{85}Kr ou ^{133}Xe utilisées pour les essais des instruments utilisant l'ionisation des gaz comme moyen de détection.

Les essais qui utilisent de telles sources permettent en principe de vérifier le bon fonctionnement des circuits électroniques utilisés pour l'analyse, depuis le détecteur jusqu'à l'affichage.

Dans quelques cas, cependant, ces essais peuvent s'avérer insuffisants parce que les sources utilisées ne sont pas assez représentatives du phénomène réel à mesurer.

Quel que soit le radionucléide choisi, l'énergie maximale des particules alpha émises par un radionucléide artificiel ne dépasse pas $\approx 5,8$ MeV. Si les circuits d'analyse ont une réponse non linéaire à des énergies au-delà de cette valeur, cet artefact ne sera détecté dans aucun des essais cités ci-dessus. Le ^{214}Po (RnDP₂₂₂), par exemple, émet une particule α de 7,687 MeV.

La gamme d'énergies correspondante ne pourrait donc pas être complètement contrôlée en utilisant les radionucléides artificiels normaux.

De plus, le dépôt par diffusion sur les surfaces, les systèmes de prélèvement et de comptage simultanés, la mesure simultanée du ^{222}Rn et du ^{220}Rn , le comportement de l'aérosol porteur des RnDP (qui est l'objet de la mesure) ne peuvent pas être simulés.

Methods based:

- either on the measurement of the radon and its decay products placed in a known equilibrium state;
- or on the measurement of the decay products only, a calculation involving the equilibrium state and the radioactive decay laws, which make it possible to calculate back and obtain a measurement of the radon volume activity,

are always considered as indirect methods.

5.3 Methods of measuring radon decay products in an atmosphere

The methods listed in table B.2 are those currently in use for the instruments being tested, and may be also involved in the tests with reference atmospheres.

NOTE Methods involving aerosol sampling will always disturb the measurement (by aerosol losses, depletion or enrichment of aerosol concentration due to air flow pattern modifications in front of the sampling orifice, etc.).

The majority of the standard methods of measuring RnDPs are indirect methods based on sampling techniques.

5.4 Range of test parameters

The ranges of parameters for testing the different kind of instruments are given in IEC 61577-2, IEC 61577-3 and IEC 61263.

6 Need for a reference atmosphere

6.1 Usual test methods

Tests of instruments for measuring radon and its decay products are often carried out using solid or gaseous reference sources consisting of a well-defined radionuclide whose activity is accurately known. Examples include the electro-deposited solid sources of ^{241}Am , ^{239}Pu used for testing equipment using the measurement of α emission, the sources of ^{137}Cs , or ^{90}Sr for testing equipment using the measurement of β emission, and the gaseous sources of ^{85}Kr or ^{133}Xe used for testing equipment using the ionization of gases as a means of detection.

The tests using such sources make it possible in principle to check the correct operation of the electronic circuits used for analysis, starting from the detector through to the display device.

However, in some cases these tests may be deficient because the sources used are insufficiently representative of the real phenomenon to be measured.

Whatever radionuclide is chosen, the maximum energy of the alpha particles emitted by an artificial radionuclide does not exceed $\approx 5,8$ MeV. If the analysis circuits have a non-linear response at energies beyond this value, this artefact would not be detected during any of the above-mentioned tests. ^{214}Po (RnDP₂₂₂), for example, emits an α -particle of 7,687 MeV.

The corresponding energy range thus could not be completely tested using the normal artificial radionuclides.

Moreover, plate out effect, simultaneous sampling and counting system, ^{222}Rn and ^{220}Rn simultaneous measurement, RnDP aerosol (which is the object of measurement) behaviour cannot be simulated.

Certains instruments, en particulier ceux qui sont utilisés pour l'évaluation de l'activité volumique des descendants du radon, utilisent des algorithmes informatiques basés sur les lois de la décroissance radioactive spécifiques au descendant radioactif en question. Ces algorithmes, eux non plus, ne peuvent pas être essayés en utilisant des sources de radionucléides artificiels à vie longue.

Quant aux appareils de mesure du radon gaz qui ne fonctionnent que par détection de l'émission α propre au radon, ils ne peuvent évidemment qu'être incomplètement testés à l'aide de gaz radioactifs émetteurs β ou γ .

Somme toute, la nécessité d'une atmosphère de référence relève du fait qu'il n'y a aucun radionucléide artificiel qui présente des propriétés de désintégration qui ressemblent à celles des descendants du radon, et qui puisse être utilisé pour un essai complet des instruments de mesure concernés.

6.2 Mélanges d'isotopes du radon

Dans les atmosphères réelles, nous nous trouvons confrontés à un mélange d'isotopes du radon variés dans des proportions et avec des facteurs d'équilibre variables. Une atmosphère de référence doit être capable de contenir de tels mélanges, du moins dans des proportions fixes et définies. Les gammes d'activités volumiques définies dans l'annexe C (voir C.4.2.1) peuvent être utilisées si elles s'appliquent à chaque isotope pris à part. L'énergie alpha potentielle et l'exposition à l'énergie alpha potentielle seront, quant à elles, mesurées, puisqu'il n'y a aucun moyen simple de prédire directement de telles grandeurs.

Dans quelques cas particuliers (par exemple une zone fortement ventilée avec une forte activité volumique du radon, mesure des $RnDP_{222}$ en présence de $RnDP_{220}$, mesure des $RnDP_{220}$ en présence de $RnDP_{222}$), il convient de considérer le radon et/ou les $RnDP$ comme grandeurs d'influence.

6.3 Le concept de STAR

Les différents exemples illustrés indiquent la nécessité de disposer d'un dispositif d'essai qui permette d'établir une relation directe avec les éléments à mesurer. Ce dispositif complexe sera composé de quatre parties indissociables:

- le dispositif pour la production de l'atmosphère;
- le dispositif pour contenir l'atmosphère;
- l'atmosphère de référence ainsi créée;
- le matériel et les méthodes pour la surveillance en continu de cette atmosphère;

le tout associé à la traçabilité jusqu'à une organisation ou un laboratoire de référence reconnu.

Pour simplifier le texte de cette norme, un tel système est désigné sous le nom de STAR (Système de Test en Atmosphères contenant du Radon).

La figure 3 montre la structure générale d'un STAR complet.

Ce système est parfois aussi appelé chambre à radon; ce terme, cependant, n'exprime pas le même concept intégré.

Il est possible, cependant, que certains STAR ne comprennent que certaines parties du système complet. Par exemple un STAR utilisé uniquement pour le radon n'a besoin ni d'un instrument de référence pour la mesure des $RnDP$ ni de systèmes pour le contrôle et la mesure de l'aérosol, excepté dans le cas des essais d'instruments utilisant des détecteurs ouverts.

Some instruments, particularly those used for the evaluation of the volume activity of radon decay product, use computer algorithms based on the decay laws specific to the radioactive decay product in question. These algorithms, too, cannot be checked with the help of sources using long-lived artificial radionuclides.

As for instruments that measure radon gas, which operate only by detecting the α emission specifically from radon, it is obvious that they can be only incompletely tested using β - or γ -emitting radioactive gases.

As a whole, the need for a reference atmosphere arises from the fact that there is no artificial radionuclide showing similar decay properties with RnDP, able to be used for a complete testing of the measuring instruments concerned.

6.2 Mixtures of radon isotopes

In real atmospheres, we are concerned with a mixture of different radon isotopes in varying proportions and with variable equilibrium factors. A reference atmosphere shall be capable of containing such mixtures, at least in fixed and defined proportions. The ranges of volume activities defined in C.4.2.1 can be used as if they applied to each isotope taken separately. For their part, the potential alpha energy, and furthermore the exposure to potential alpha energy, will be measured, since no simple way of predicting them can be given.

In some special cases (i.e. very strongly ventilated area with high radon volume activity, RnDP₂₂₂ measurement in the presence of RnDP₂₂₀, RnDP₂₂₀ measurement in the presence of RnDP₂₂₂), radon and/or RnDP should be considered as influence quantities.

6.3 The concept of STAR

The various examples illustrated indicate a need for a test facility related directly to the elements to be measured. Such a facility will be complex and will consist of four inseparable parts:

- the equipment for producing the atmosphere;
- the equipment for containing the atmosphere;
- the reference atmosphere thus created;
- the equipment and methods for monitoring this atmosphere;

the whole associated with traceability to a recognized reference organisation or laboratory.

In order to simplify the text of this standard, such a system is referred as a STAR (an acronym for System for Test Atmospheres with Radon).

Figure 3 shows the general construction of a complete STAR.

It is also sometimes called "radon chamber"; however, this term does not imply the same integrated concept.

However, some STARs may comprise only parts of the complete scheme. As an example, STAR used only for radon needs neither reference RnDP measuring instrument nor aerosol control and measurement systems, except for testing instruments with open detectors.

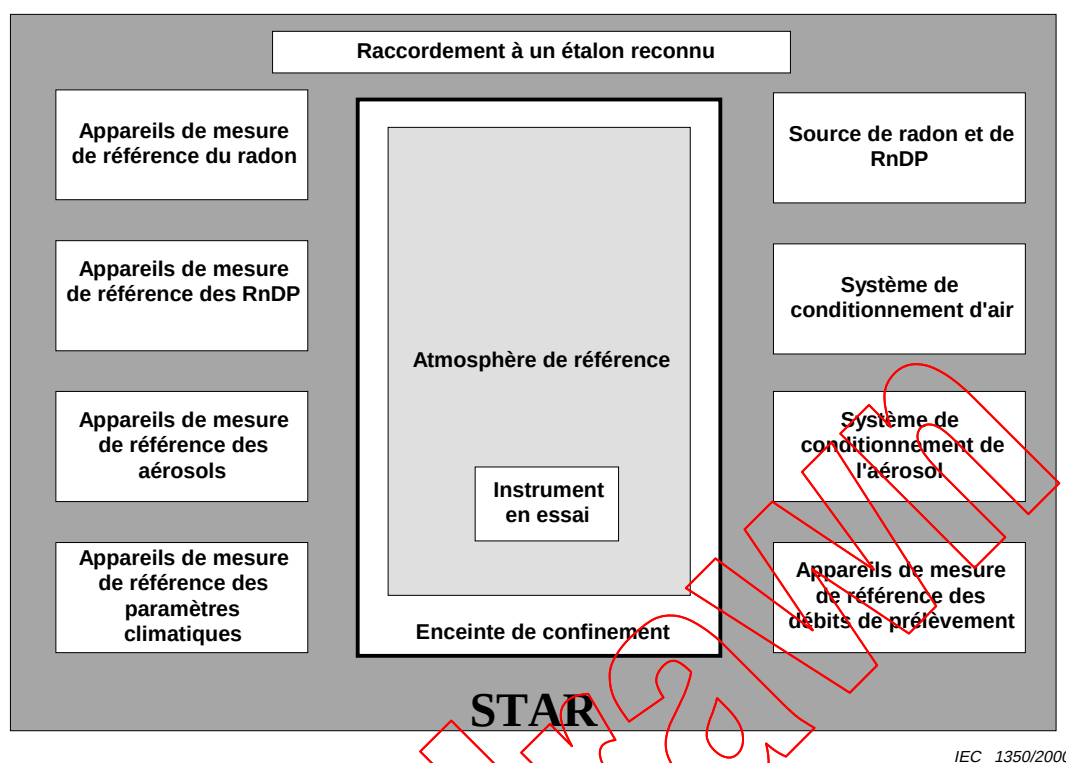


Figure 3 – Constitution d'un STAR

Quelques exemples de STAR sont présentés dans l'annexe F.

7 Procédures pour les essais des instruments de mesure du radon et des descendants du radon

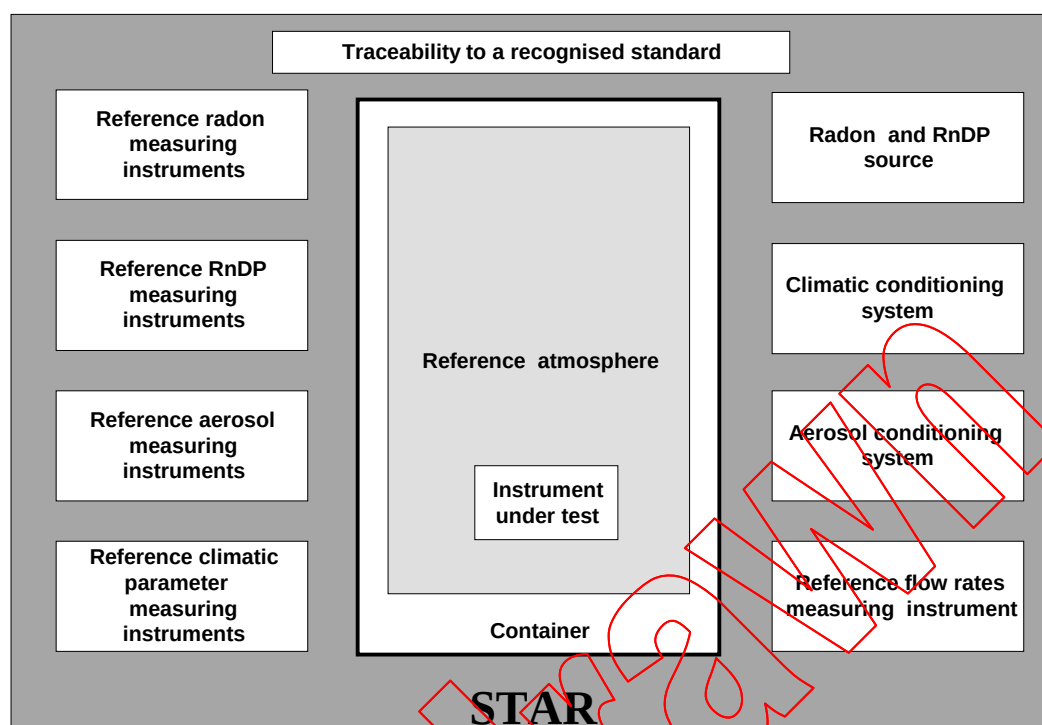
Ces procédures concernent des exigences spécifiques.

7.1 Procédures pour les essais des instruments de mesure du radon

Les procédures concernées sont décrites dans la CEI 61577-2. Elles concernent les essais des instruments destinés à la mesure de l'activité volumique du radon dans l'atmosphère. Ces essais doivent être effectués, avec variations des grandeurs d'influence, en utilisant des sources radioactives de référence et des atmosphères de référence créées avec un STAR.

7.2 Procédures pour les essais des instruments de mesure des RnDP

Les procédures concernées sont décrites dans la CEI 61577-3. Elles concernent les essais des instruments destinés à la mesure de l'activité volumique des descendants du radon et/ou de l'énergie alpha potentielle volumique. Ces essais doivent aussi être effectués, avec variations des grandeurs d'influence, en utilisant des sources radioactives de référence et des atmosphères radioactives de référence créées avec un STAR.



IEC 1350/2000

Figure 3 – Construction of a STAR

Some examples of STAR are given in annex F.

7 Protocols for testing radon and RnDP measuring instruments

These protocols concern specific requirements.

7.1 Protocols for testing radon measuring instruments

The protocols concerned are described in IEC 61577-2. They concern tests of instruments dedicated to the measurement of the radon volume activity in the atmosphere. These tests have to be conducted using together reference radioactive sources and reference radioactive atmospheres created with a STAR, with variations of the influence quantities.

7.2 Protocols for testing RnDP measuring instruments

The protocols concerned are described in IEC 61577-3. They concern tests of instruments devoted to the measurement of RnDP volume activity and/or of potential alpha energy concentration. These tests have also to be conducted using together reference radioactive sources and reference radioactive atmospheres created with a STAR, with variations of the influence quantities.

Annexe A (informative)

Les radionucléides des chaînes de l'uranium et du thorium

Les caractéristiques radioactives¹⁾ des nucléides des familles ou chaînes suivantes sont présentées dans les tableaux A.1 et A.2 respectivement:

- uranium 238 (15 nucléides)
- thorium 232 (12 nucléides)

A.1 Têtes de chaîne

Les têtes de chaîne correspondent à des radionucléides ayant des périodes dont les valeurs sont comparables à l'âge de la terre:

- âge de la terre: $\approx 5 \times 10^9$ ans
- période de l'uranium 238: $4,468 \times 10^9$ ans
- période du thorium 232: $1,405 \times 10^{10}$ ans

Pour ces deux radionucléides, le nombre d'atomes qui subsistent encore représente:

- 46 % pour l'uranium 238;
- 78 % pour le thorium 232,

de ceux qui existaient au moment de la formation de la terre.

NOTE Par convention, l'incertitude sur la valeur de la période radioactive et de l'énergie des émissions des radionucléides mesurés sera considérée comme nulle. Les valeurs conventionnellement vraies sont données dans les tableaux A.1 et A.2.

1) Toutes les constantes radioactives citées dans la présente norme sont extraites de la référence [1] donnée en bibliographie.

Annex A (informative)

Radionuclides in the uranium and thorium series

The radioactive characteristics¹⁾ of the nuclides in the following families or series are listed in tables A.1 and A.2 respectively:

- uranium 238 (15 nuclides)
- thorium 232 (12 nuclides)

A.1 Heads of series

It is worth noting that the properties of the nuclides at the head of each series, as given in the tables, show that their half-lives are comparable with the age of the earth.

- age of the earth: $\approx 5 \times 10^9$ years
- half-life of uranium 238: $4,468 \times 10^9$ years
- half-life of thorium 232: $1,405 \times 10^{10}$ years

Thus, the proportions of these radionuclides that still persist on the earth, expressed in terms of the number that existed at the time when the earth was formed, are:

- 46 % for uranium 238;
- 78 % for thorium 232.

NOTE By convention, the uncertainty of the value of the half-life and of the energies of emissions of the measured radionuclides will be taken as zero. The values of these conventionally true values are given in tables A.1 and A.2.

¹⁾ All the radioactive data given in this standard are extracted from [1] (see bibliography).

A.2 Chaîne de l'uranium

Tableau A.1 – Caractéristiques des radionucléides de la chaîne de l'uranium 238

Symbole	Période	Energies des principales radiations MeV			Nombre d'atomes par Bq
		Alpha	Bêta (moyenne)	Gamma	
$^{238}_{92}\text{U}$	$4,468 \times 10^9$ an	4,149 (22,9 %) 4,198 (76,8 %)			$2,03 \times 10^{17}$
$^{234}_{90}\text{Th}$	24,10 j		0,024 93 (18,6 %) 0,050 55 (72,5 %)	0,063 29 (3,81 %) 0,092 80 (2,69 %)	$3,00 \times 10^6$
$^{234m}_{90}\text{Pa}$	1,17 min		0,825 3 (98,3 %)		$1,01 \times 10^2$
$^{234}_{90}\text{Pa}$	6,7 h		0,141 0 (25,3 %) 0,141 2 (11,6 %) 0,198 1 (15,9 %)	0,131 2 (19,7 %) 0,227 2 (5,50 %) 0,733 0 (8,58 %)	$34,70 \times 10^3$
$^{234}_{92}\text{U}$	244 500 an	4,721 (27,4 %) 4,773 (72,3 %)			$1,11 \times 10^{13}$
$^{230}_{90}\text{Th}$	77 000 an	4,621 (23,4 %) 4,688 (76,2 %)			$3,50 \times 10^{12}$
$^{226}_{88}\text{Ra}$	1 600 an	4,602 (5,55 %) 4,785 (94,4 %)		0,186 (3,28 %)	$7,28 \times 10^{10}$
$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,8235 j	5,490 (99,9 %)			$4,77 \times 10^5$
$^{218}_{84}\text{Po}$	3,05 min	6,003 (100 %)			$2,64 \times 10^2$
$^{214}_{82}\text{Pb}$	26,8 min		0,207 2 (48,1 %) 0,227 4 (42,1 %)	0,295 2 (19,2 %) 0,351 9 (37,1 %)	$2,32 \times 10^3$
$^{214}_{83}\text{Bi}$	19,9 min		0,491 9 (8,28 %) 0,525 2 (17,6 %) 0,539 3 (17,9 %) 1,269 (17,7 %)	0,609 3 (46,1 %) 1,120 (15,0 %) 1,765 (15,9 %)	$1,72 \times 10^3$
$^{214}_{84}\text{Po}$	164,3 μs	7,687 (100 %)			$2,37 \times 10^{-4}$
$^{210}_{82}\text{Pb}$	22,3 an		0,016 13 (20 %)	0,046 5 (4,05 %)	$1,01 \times 10^9$
$^{210}_{83}\text{Bi}$	5,012 j		0,388 9 (100 %)		$6,25 \times 10^5$
$^{210}_{82}\text{Po}$	138,38 j	5,297 (100 %)			$1,72 \times 10^7$
$^{206}_{82}\text{Pb}$	Stable				