

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

Part 4: Equipment for the production of reference atmospheres containing radon isotopes and their decay products (STAR)

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

Partie 4: Dispositif pour la réalisation d'atmosphères de référence contenant des isotopes du radon et leurs descendants (STAR)



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 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 Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

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.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Radiation protection instrumentation – Radon and radon decay product
measuring instruments –
Part 4: Equipment for the production of reference atmospheres containing
radon isotopes and their decay products (STAR)**

**Instrumentation pour la radioprotection – Instruments de mesure du radon et
des descendants du radon –
Partie 4: Dispositif pour la réalisation d’atmosphères de référence contenant
des isotopes du radon et leurs descendants (STAR)**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

U

ICS 13.280

ISBN 2-8318-1031-3

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope and object.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions and units.....	8
3.1 General terms and definitions	8
3.2 Specific terms and definitions	9
3.3 Units and conversion factors	12
4 General description of a System for Test Atmospheres with Radon (STAR).....	13
4.1 General.....	13
4.2 Mode of operation of a STAR	14
4.2.1 Static mode of operation.....	14
4.2.2 Dynamic mode of operation	14
5 Characteristics of a STAR	15
5.1 General.....	15
5.2 STAR for radon	16
5.2.1 General	16
5.2.2 Technical characteristics of STAR containers	16
5.2.3 Radon sources	16
5.2.4 ^{222}Rn and ^{220}Rn analysis and control.....	17
5.2.5 Analysis and control of climatic parameters	18
5.3 STAR for radon and RnDP	18
5.3.1 General	18
5.3.2 Technical characteristics of STAR containers	18
5.3.3 RnDP sources	18
5.3.4 RnDP analysis and control.....	19
5.3.5 Sampling flow rate of equipment under test	19
5.3.6 Analysis and control of climatic parameters	20
6 Requirements for the reference atmosphere provided by STAR.....	20
6.1 General.....	20
6.2 Reference conditions.....	20
6.3 Influence quantities	21
6.3.1 General	21
6.3.2 Temperature.....	22
6.3.3 Relative humidity	22
6.3.4 Atmospheric pressure.....	22
6.3.5 Ambient gamma field	23
6.3.6 Working range for exposure to RnDP.....	23
6.3.7 Working range for aerosols.....	23
6.3.8 Exposure time for the instrument under test.....	23
7 Calibration and traceability of measurement methods and instruments used in a STAR	23
7.1 Traceability chains	23
7.2 Quality assurance	24
Annex A (informative) Characteristics of atmospheres that can be simulated in a STAR.....	25

Bibliography.....	27
Figure 1 – Components of a STAR: general case.....	13
Figure 2 – Minimum requirements for a STAR.....	14
Figure 3 – Dynamic mode of operation of a STAR.....	15
Table 1 – Reference and standard test conditions.....	21
Table 2 – Tests with variation of the influence quantities	21
Table A.1 – Atmosphere characteristic ranges (typical values).....	26

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

Part 4: Equipment for the production of reference atmospheres containing radon isotopes and their decay products (STAR)

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 61577-4 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/598/FDIS	45B/606/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.

A list of all parts of the IEC 61577 series, under the general title *Radiation protection instrumentation – Radon and radon decay product measuring instruments*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

INTRODUCTION

Radon is a radioactive gas produced by the decay of ^{226}Ra , ^{223}Ra and ^{224}Ra , respectively decay products of ^{238}U , ^{235}U and ^{232}Th which are present in the earth's crust. By decay, radon isotopes (i.e. ^{222}Rn , ^{219}Rn , ^{220}Rn) produce three decay chains, each ending in a stable lead isotope.

NOTE In normal conditions, due to the very short half-life of ^{219}Rn , its activity and the activity of its RnDP¹ are considered negligible compared to the activity of the two other series. Its health effects are therefore not important. Thus in this standard ^{219}Rn and its decay products are not considered.

Radon isotopes and their corresponding short-lived Radon Decay Products (RnDP) (i.e. ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po for ^{222}Rn , and ^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{212}Po , ^{208}Tl for ^{220}Rn) are of considerable importance, as they constitute the major part of the radiological exposure to natural radioactivity for the general public and workers. In some workplaces, for instance in underground mines, spas and waterworks, the workers are exposed to very significant levels of 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. 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.

Remark:

In order to facilitate its use, the IEC 61577 series is divided into the following different parts:

IEC 61577-1: This emphasizes the terminology and units of the specific field of radon and radon decay products (RnDP) measurement techniques and presents briefly the concept of System for Test Atmospheres with Radon (STAR) used for test and calibration of radon and RnDP measuring devices.

IEC 61577-2: This part is dedicated to the tests of ^{222}Rn and ^{220}Rn measuring instruments.

IEC 61577-3: This part is dedicated to the tests of RnDP_{222} and RnDP_{220} measuring instruments.

IEC 61577-4: Details how a STAR is constructed and how it can be used for testing.

¹ RnDP is the acronym of Radon Decay Products and it is equivalent to Radon Progeny (see [1] in the Bibliography).

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

Part 4: Equipment for the production of reference atmospheres containing radon isotopes and their decay products (STAR)

1 Scope and object

The IEC 61577 series covers the general features concerning test and calibration of radon and radon decay products measuring instruments. It is also intended to help define type tests, which have to be conducted in order to qualify these instruments. These type tests are described in IEC 61577-2 and IEC 61577-3. This standard addresses only the instruments and associated methods for measuring isotopes 220 and 222 of radon and their subsequent short-lived decay products in gases.

IEC 61577-4 concerns the System for Test Atmospheres with Radon (STAR) needed for testing, in a reference atmosphere, the instruments measuring radon and RnDP. The clauses that follow do neither claim to solve all the problems involved in the production of equipment for setting up reference atmospheres for radon and its decay products, nor to describe all the methods for doing so. They do however set out to be a guide enabling those faced with such problems to choose the best methods for adoption in full knowledge of the facts.

2 Normative references

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

IEC 60050-111:1996, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 111: Physics and chemistry*

IEC 60050-393:2003, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 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 61577 (all parts), *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures*

ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

ICRP 32: *Annals of the ICRP, Publication N° 32, Limits for inhalation of Radon Daughters by Workers, Vol. 6, N°1, 1981, Pergamon Press*

ICRP 38: *Annals of the ICRP, Publication N° 38, Radionuclides transformations, Energy and Intensity of Emissions, Vol. 11 - 13, 1983, Pergamon Press*

ICRP 65: *Annals of the ICRP, Publication N° 65, ICRP Publication 65: Protection Against Radon-222 at Home and at Work, Vol. 23/2, 1994, Pergamon Press*

3 Terms, definitions and units

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

Throughout the whole standard, the term RADON is used to denote all the radon isotopes, which are covered 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). For historical reasons, ^{220}Rn is also called thoron.

The term RADON DECAY PRODUCTS 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 222 , 220 added to the symbol RnDP refer to the whole set of short-lived 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).

All the nuclear data used in this standard refers to ICRP 38, as this standard applies mainly to instruments used for radiation protection purposes.

3.1 General terms and definitions

3.1.1 activity

A

quotient, for an amount of radionuclide in a particular energy state at a given time, of dN by dt , where dN is the expectation value of the number of spontaneous nuclear transitions from this energy state in the time interval of duration dt :

$$A = \frac{dN}{dt}$$

NOTE This quantity is expressed in becquerels (Bq).

[IEV 393-14-12]

3.1.2 volumic activity activity concentration

C_A

quotient of the activity by the total volume of the sample

NOTE 1 For a gas, it is necessary to indicate the temperature and pressure conditions for which the volumic activity, expressed in becquerel per cubic metre, is measured, for example standard temperature and pressure (STP).

NOTE 2 This quantity is expressed in becquerels per cubic metre ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$).

[IEV 393-14-16]

3.1.3 primary standard

standard that is designed or widely acknowledged as having the highest metrological qualities and whose value is accepted without reference to other standards of the same quantity

NOTE The concept of primary standard is equally valid for base quantities and derived quantities.

[VIM, 5.4, modified]

3.1.4**secondary standard**

standard whose value is assigned by comparison with a primary standard of the same quantity

[VIM, 5.5, modified]

3.1.5**reference standard**

standard generally having the highest metrological quality available at a given location or in a given organization, from which measurements made there are derived

[VIM, 5.6, modified]

3.1.6**mass flow rate**

($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$)

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

3.1.7**volume flow rate**

($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)

volume of gas flowing in a conduit during a unit time

3.1.8**aerosol**

set of solid or liquid particles in suspension in a gaseous medium

NOTE The range of particle diameter is generally from a few nanometres up to 10 μm .

[IEV 393-11-37]

3.1.9**homogeneous**

qualifies a physical medium in which the relevant properties are independent of the position in the medium

[IEV 111-13-08]

3.1.10**conventionally true value of a quantity**

v_c

value attributed to a particular quantity and accepted, sometimes by convention, as having an uncertainty appropriate for a given purpose

NOTE "Conventionally true value of a quantity" is sometimes called assigned value, best estimate of the value, conventional value or reference value.

[IEV 394-40-10]

3.2 Specific terms and definitions**3.2.1****Potential Alpha Energy**

PAE or ε_p

total alpha energy emitted during the decay of RnDP atoms along the decay chain through to ^{210}Pb or ^{208}Pb respectively for the decay chains of the ^{222}Rn and ^{220}Rn

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

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

where N is the number of atoms

NOTE 1 The 7,804 MeV alpha energy corresponds to a virtual alpha emission due to the branching ratio of ^{212}Bi .

NOTE 2 Annual Limits of Intake (ALI) can be expressed in the term of PAE_{222} and PAE_{220} . For this reason, PAE_{222} and PAE_{220} are used as health risk indicator.

[ICRP 32]

3.2.2

Potential Alpha Energy Concentration

PAEC or c_p

concentration of any mixture of short-lived radon decay products in air in terms of the alpha energy released during decay through ^{210}Pb or ^{208}Pb

NOTE This quantity is expressed in the SI unit $\text{J}\cdot\text{m}^{-3}$.

[ICRP 32]

3.2.3

Potential alpha energy exposure

$P_p(T)$

time integral of the potential alpha energy concentration in air, c_p , to which an individual is exposed over a given time period T , e.g. one year

$$P_p(T) = \int_T c_p(t).dt$$

NOTE This quantity is expressed in the SI unit $\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$.

[ICRP 65]

3.2.4

equilibrium equivalent concentration

c_{eq}

activity concentration of radon, in radioactive equilibrium with its short-lived decay products that has the same potential alpha energy concentration as the non-equilibrium mixture to which the c_{eq} refers

NOTE This quantity is expressed in the SI unit $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

[ICRP 32]

3.2.5

equilibrium factor

F

ratio of equilibrium equivalent concentration to the radon gas concentration

$$F = \frac{c_{eq}}{C_{\text{Rn}}}$$

[ICRP 65]

3.2.6

emanating power (or emanation coefficient)

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

$$\tau = \frac{n}{N}$$

3.2.7**emanation rate**

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

NOTE This is expressed in Bq·kg⁻¹·s⁻¹.

3.2.8**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

3.2.9**Activity Median Aerodynamic Diameter****AMAD** [2]²

median of the activity distribution of diameters of the unit density (kg·m⁻³) spheres that have the same settling velocity as the aerosol particle concerned

3.2.10**Activity Median Thermodynamic Diameter****AMTD**

median of the activity distribution of diameters of the unit density (kg·m⁻³) spheres that have the same thermodynamic properties as the aerosol particle concerned

3.2.11**unattached fraction of PAEC**

fraction of the potential alpha energy concentration of short-lived RnDP that is not attached to the ambient aerosol

NOTE The particle size concerned is in the order of magnitude of nm.

[ICRP 65]

3.2.12**attached fraction**

fraction of the potential alpha energy concentration of short-lived RnDP that is attached to the ambient aerosol.

NOTE 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.

3.2.13**grab sampling**

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

3.2.14**continuous method**

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

² Numbers in brackets refer to the bibliography.

3.2.15

integrating method

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

3.2.16

passive sampling

sampling that applies to instruments using no active device like pumps for sampling the atmosphere

NOTE In this case, the sampling is in most instruments mainly made by diffusion.

3.2.17

active sampling

sampling applies to instruments using active devices like pumps for sampling the atmosphere

3.2.18

reference source

radioactive secondary standard source for use in the calibration of the measuring instrument

[IEV 394-40-19]

3.2.19

reference atmosphere

radioactive atmosphere in which the influencing parameters (aerosols, radioactivity, climatic conditions, 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 are traceable to recognized standards

3.2.20

System for Test Atmospheres with Radon

STAR

system that designates the equipment needed for the creation and the use of a reference atmosphere

3.2.21

High Efficiency Particulate Air filters (HEPA filters)

filters used for the aerosol collection, with a minimum efficiency of 99,97 % for particle size of 0,3 µm

3.3 Units and conversion factors

This standard uses the International System of Units (SI).

NOTE The following "non-standard" units are still sometimes used:

Curie (Ci), a unit of activity:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

MeV·l⁻¹, a unit of potential alpha energy concentration

$$1 \text{ MeV} \cdot \text{l}^{-1} = 1,6 \times 10^{-4} \text{ µJ} \cdot \text{m}^{-3}$$

The following conversion factors are given for information:

Working Level (WL), a quantity of volume potential alpha energy

$$1 \text{ WL} = 20,8 \text{ µJ} \cdot \text{m}^{-3}$$

Working Level Month (WLM), a quantity of exposure to potential alpha energy

$$1 \text{ WLM} = 3,6 \text{ mJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$$

- A ²²²Rn activity concentration of 1 Bq·m⁻³ in equilibrium with its RnDP₂₂₂, is equivalent to a Potential Alpha Energy, Concentration, PAEC₂₂₂ of $5,62 \times 10^{-9} \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$.

- A ²²⁰Rn activity concentration of 1 Bq·m⁻³ in equilibrium with its RnDP₂₂₀, is equivalent to a Potential Alpha Energy, Concentration, PAEC₂₂₀ of $75,8 \times 10^{-9} \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$.

4 General description of a System for Test Atmospheres with Radon (STAR)

4.1 General

The need for a reference atmosphere arises from the necessity for a complete and standardized testing, under controlled conditions, of the measuring instruments concerned.

The various examples illustrated indicate a need for a test facility related directly to the elements to be measured. Such a facility 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.

Equipment used to characterise the atmosphere shall be traceable to a primary standard.

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

The Figure 1 shows the general components of a complete STAR.

It is also called "Radon Chamber"; however, this term does not imply the same integrated concept.

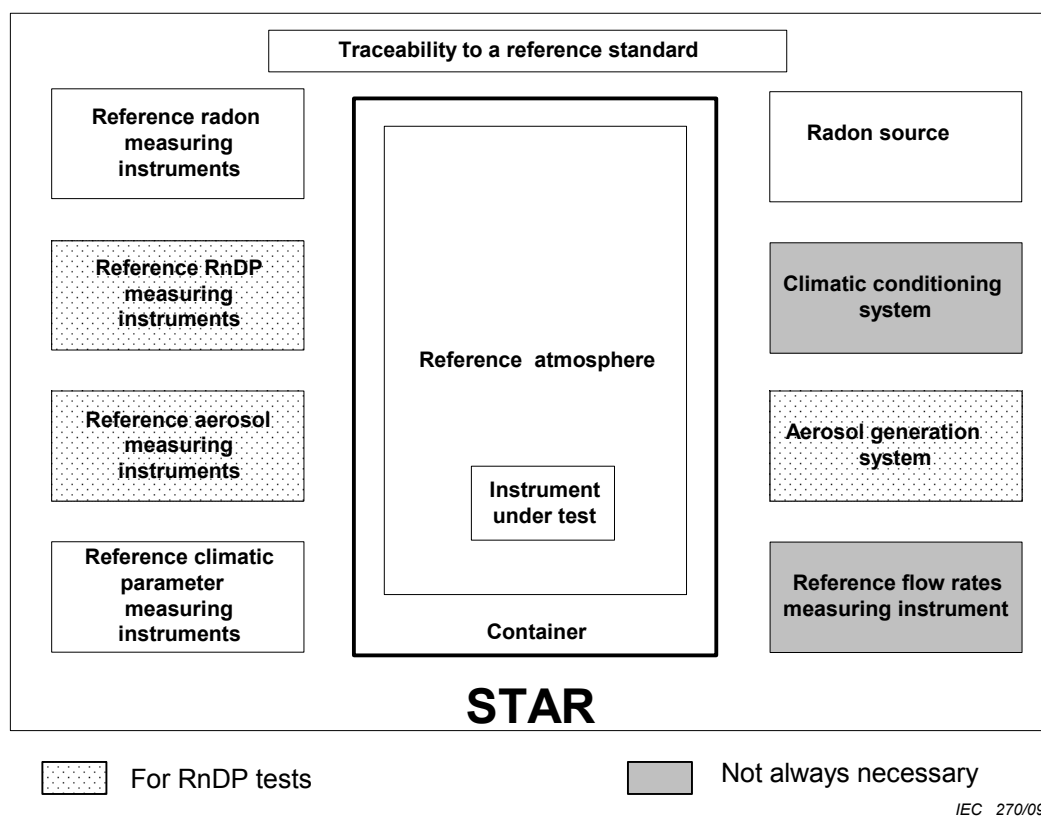
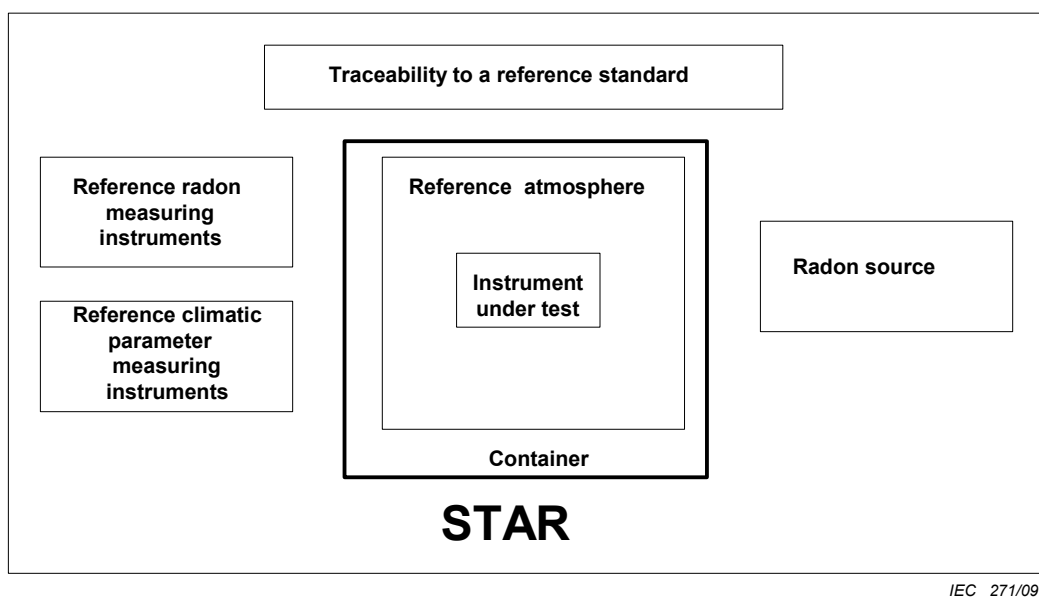


Figure 1 – Components of a STAR: general case

In some cases, a STAR may comprise only parts of the complete scheme. As an example, STAR used only for testing radon instruments, which are not affected by aerosols and RnDP in the atmosphere, do not need special equipment for controlling quantities relating to these effects. Figure 2 illustrates this minimum configuration.



IEC 271/09

Figure 2 – Minimum requirements for a STAR

The equipment used for containing the reference atmosphere can be classified into two main categories:

- large containers (internal volume of several m³), often designed as "walk in", allow the equipment to be handled inside it, by operators;
- small containers only for the equipment under test.

4.2 Mode of operation of a STAR

4.2.1 Static mode of operation

With the static mode of operation, the conditions inside the container are settled at the beginning of the operation.

The radon sources are placed inside or outside the container. The static mode of operation may include the use of an internal fan for the purpose of homogenisation of the atmosphere.

NOTE Containers for static mode of operation are relatively simple to set up and to use, and they enable a diverse set of atmospheres to be created and manipulated. However, there are only limited possibilities when it comes to controlling the internal conditions (atmospheres, aerosols, etc.).

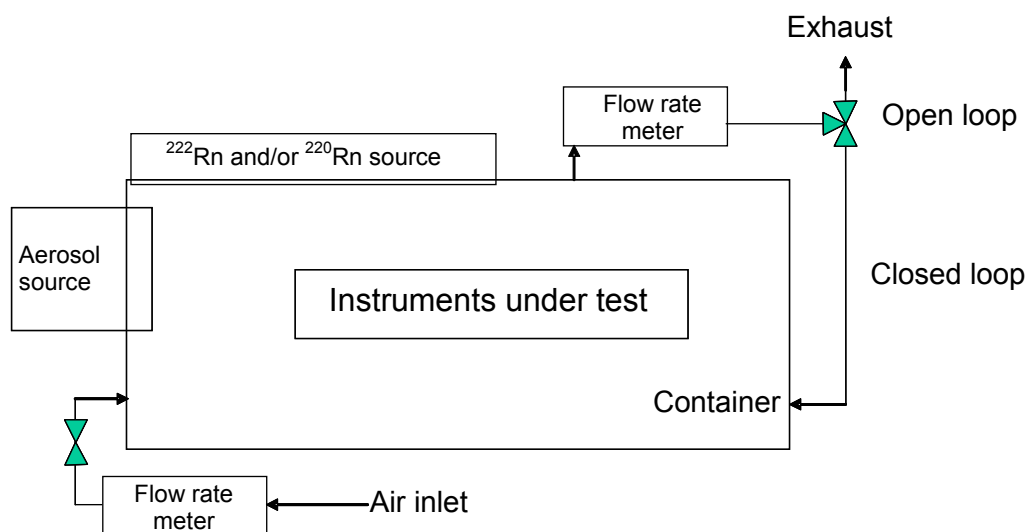
4.2.2 Dynamic mode of operation

With the dynamic mode of operation, atmosphere conditions in the container can be controlled and modified during the exposition of the apparatus to be tested.

Dynamic mode of operation always incorporates some method of renewing, totally or partially, the internal atmosphere (Figure 3).

Dynamic mode can be used in two ways (Figure 3):

- with a closed loop (recirculation of the atmosphere),
- with an open loop (partial or total evacuation).



IEC 272/09

Figure 3 – Dynamic mode of operation of a STAR

The radon sources are generally located outside the container, thus allowing some control, or at least a continuous monitoring, of the internal conditions.

The aerosol source is located inside or outside the container.

The use of an open-air circuit may have influence on the radioactive releases to the environment.

The closed loop is used to control the aerosol concentration or the equilibrium factor in the container.

The different modes of operation of a STAR may involve various air-flow conditions that influence the homogeneity or the behaviour of RnDP:

a) Convection

Convection shall be taken into account in static or very low air exchange rate conditions. This phenomenon may, in these experimental conditions, modify the homogeneity of the STAR atmosphere.

b) Forced air movement

Forced air movement may have an influence on aerosol behaviour, mainly by turbulent diffusion and impaction phenomena, leading to changes in the deposition of RnDP on surfaces (walls, instrument, etc.). It may also be important for the homogeneity of the atmosphere.

Air exchange rates have a strong influence on the RnDP concentration in the reference atmosphere.

5 Characteristics of a STAR

5.1 General

This clause describes the characteristics for STARs dedicated to radon reference atmosphere and, for STARs dedicated to radon and RnDP reference atmosphere.

5.2 STAR for radon

5.2.1 General

This type of STAR shall be used only for testing instruments that do not depend on aerosol parameters. Therefore, instruments measuring radon with an open detector cannot be tested with this STAR.

5.2.2 Technical characteristics of STAR containers

A STAR container shall be sufficiently leak proof:

- to ensure safety through the effective confinement of any radioactivity it might contain;
- to prevent any unforeseen change due to leakage of the reference atmosphere.

If, in addition, the container is to be provided with means for carrying out tests under pressure, it shall withstand the internal pressure required for such tests and be in conformity with all relevant regulations related to pressure vessels.

The walls shall be thermally insulated (for example with $R_{th} > 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) when tests with variation of temperature and humidity, according to Table 2, are conducted. Where the atmosphere in the container is to be continuously renewed, its internal shape should be designed so as to avoid badly ventilated "dead" zones capable of leading to a non-uniform distribution of activities throughout the volume. Such a design might also facilitate the processes of evacuation and decontamination of the atmosphere.

The internal walls of the container should be made of a smooth material which cannot corrode and is a good electrical conductor. These qualities not only facilitate decontamination and limit the trapping of aerosols by diffusion to a minimum, but they also prevent any stray collection of RnDPs through electrostatic effects.

Whatever the type of container used, the manipulation of equipment during tests shall as far as possible be carried out from the outside, either by remote control or by the use of glove apertures so as to cause the least possible disturbance to the internal conditions.

For the same reason, the largest containers should be fitted with an airlock, both for the introduction of instruments and for the entrance and exit of operators.

The electricity supply should be stable both in voltage and frequency and should provide sufficient power.

NOTE A suitable location shall be available to store passive integrating detectors where the radon level is minimal.

5.2.3 Radon sources

5.2.3.1 Solid sources

Solid sources generally consist of a salt of ^{226}Ra or ^{228}Th to generate ^{222}Rn and ^{220}Rn , respectively. The salt may be pure or it may be mixed with, or trapped on a matrix. The nature of the material will determine the value of the emanating power and of emanation rate and thus the capacity of the source to supply large amounts of radon.

The emanation rate should be constant. But, since the emanating power is highly dependent on certain physical parameters (relative humidity, etc), the use of such sources will require considerable precautions to be taken (control of temperature, humidity, etc). Nevertheless, these sources are very widely used because of easily handling.

NOTE Some other solid sources are simply constructed using uranium or thorium ore or tailings packed in a closed container; although this kind of source may be cheap to build and easy to operate, its stability is difficult to obtain.

5.2.3.2 Liquid sources

Liquid sources generally consist of an acid solution of a salt of ^{226}Ra or ^{228}Th in order to obtain ^{222}Rn or ^{220}Rn , respectively. After a time that depends on the half-life of the radon isotope in question, the daughters are in secular equilibrium with the parent nuclide forming the source.

By careful degassing of the solution, it is then possible to recover the radon formed either:

- in a single operation, or
- continuously.

In the latter case, a simple calculation enables the radon flow rate to be obtained in terms of the activity of the source and the flow rate of the carrier gas.

The main application of these types of sources is the calibration of the reference instruments. Precaution shall be taken to avoid contamination risks.

Permeation capsules containing ^{226}Ra in solution with a certified emanation rate are also used for calibration purposes.

5.2.3.3 Gaseous sources

Ampoules containing radon are also used as a gaseous source for generation of the STAR atmosphere. Properly calibrated radon sources in glass bulbs or stainless steel containers can be used for the standardisation of the STAR atmosphere [3, 4, 14].

NOTE Using this type of source, care shall be taken to ensure the complete transfer of the radon contained in the ampoule.

Standard ^{222}Rn gas sources are available to be used for calibration purposes.

5.2.4 ^{222}Rn and ^{220}Rn analysis and control

The radon activity concentration in a STAR is chosen according to the mode of operation. This radon activity concentration in the STAR container can be:

- kept at a constant level;
- modified in order to reach several constant levels;
- allowed to decrease with radon decay constant after injection of the radon activity in the container;
- allowed to increase until a plateau is reached.

The means used to analyse the radioactivity of the STAR will be chosen according to the tests that are planned. The conventionally true value of radon activity concentration of the reference atmosphere is traceable to national or international standards.

Auxiliary measuring equipment, if possible traceable to reference standards, will be added according to the tests to be carried out.

If, for example, a significant quantity to be investigated is the gamma radiation, an instrument for measuring this type of radiation will then be required.

In order to compare the conventionally true value of the radon activity concentration with the value measured by the instrument to be tested, the radon activity concentration in the

container shall be homogeneous. In order to ensure homogeneity of the reference atmosphere, this homogeneity shall be tested.

5.2.5 Analysis and control of climatic parameters

The main climatic parameters, temperature, pressure, and relative humidity shall be measured.

Because the temperature, relative humidity and, atmospheric pressure are influence quantities for the response of the detectors and sampling system of the instrument under test, the value of those quantities shall be taken into account for the determination of the radon or thoron activity concentration of the reference atmosphere.

When a STAR is used for the determination of the influence of climatic parameters, those parameters shall be controlled.

5.3 STAR for radon and RnDP

5.3.1 General

This type of STAR includes, at least, all the requirements of STAR for radon described in 5.2 and special requests related to RnDP that are described below.

5.3.2 Technical characteristics of STAR containers

Technical characteristics of STAR containers are defined in 5.2.2.

In addition, internal dimensions of STAR containers should achieve the best possible compromise between two contradictory requirements:

- to be as small as possible so as to limit any non-uniformity in the atmosphere that might detract from the quality of the measurements;
- to be as large as possible so as to reduce wall effects to a minimum, and to accommodate a large number of instruments under test.

5.3.3 RnDP sources

RnDP atmospheres are formed in air containing radon and natural or artificial aerosols. Therefore, RnDP sources are the result of the mixture of a radon source and an aerosol source. After decay of radon, the freshly generated RnDPs formed clusters (particles diameters in the order of magnitude of nm) of which a part will attach to the ambient aerosol. Those two parts are called unattached fraction (clusters) and attached fraction. They will deposit on surfaces inside the container depending on the particles diameters. Ranges of values found in real atmospheres for radon volumic activity, aerosol size and concentration, RnDP activity concentrations as well as fractions of the unattached RnDP are given in Table A.1 (Annex A).

In order to set up the RnDP concentration or the PAEC to a defined value, the radon and aerosol sources shall be stable during performance of the tests. It is possible, within certain limits, to adjust the RnDP concentration and the value of the unattached fraction in the carrier gas. Such changes require a modification of the ambient aerosol (number of condensation nuclei, particle size distribution), which can be achieved by using an aerosol generator and/or electrostatic precipitation equipment or filter. In general, the lower the volume number of particles is, the higher the unattached fraction is, though other factors such as air movement also affect the unattached fraction. In order to modify the above parameters, aerosol generators, filtration devices, electrostatic precipitators, ion generators, etc. can be used.

Different types of radon sources have been described above. As for aerosol sources, commercial pneumatic aerosol generators or carnauba wax generators are most often used.

5.3.4 RnDP analysis and control

The following devices or equipment shall be used to measure or monitor the characteristic values (Table 1) of the atmospheres produced in a STAR:

- a device for measuring radon continuously or semi-continuously, with a sensitivity adapted to the range of measurement to be processed and with its own recording device;
- a device to measure the number of aerosol particles per unit volume;
- a device for measuring the size distribution of aerosol particles;
- a device to measure the unattached and attached fraction of RnDP (see Note1);
- a device for measuring RnDPs (see Note 2).

NOTE 1 The unattached fraction can be measured using a screen diffusion technique such as single screen or graded screen array [10].

NOTE 2 The device for measuring RnDPs which may consist of a filter/screen sampling system combined with a counting device for analysis of the radioactivity of the filter/screen, and the use of a method of deconvolution.

This equipment should be carefully calibrated against reference standards before being used for the measurements of the STAR atmosphere.

Unlike radon sources, standard RnDP sources do not exist. The conventionally true value of PAEC of the reference atmosphere is obtained by using a reference instrument.

Attention shall be drawn to the sampling system of the RnDP measuring instruments. This part of the instrument shall be designed to minimise the deposition of aerosol particles on surfaces of the sampling systems.

Also, when active sampling is used, the sampling rate or the volume sampled shall be measured accurately, whatever type of equipment is used to measure radon volumic activity or PAEC. Because results of the measurement are expressed in the form of an activity or potential alpha energy per unit volume, sampling flow rate or sampled volume of a reference instrument needs to be calibrated with appropriate standard.

The STAR equipment shall allow for the measurement or the generation of the sampling rates or the volumes sampled by the apparatus under test as well as by the measuring devices belonging to the STAR. The measurement of the flow rates shall be supplemented by a measurement of the gas temperature and of the pressure, and possibly by a measurement of the density of the radon carrier gas (e.g. CO₂ in certain instruments for measurements in soils). The flow rate will be measured either as a mass-flow or as a volume-flow, and will be expressed by making the necessary corrections for pressure and volume to 1 013 hPa and 20 °C. The ranges of flow rates to be measured depend on the equipment to be tested.

Uncertainties on the flow rate or the volume sampled should be of the same order of magnitude as the other sources of uncertainties.

5.3.5 Sampling flow rate of equipment under test

The sampling devices used for the actual functioning of the STAR will generally have flow rates in the order of some m³·h⁻¹ and should have an overall error factor less than one percent.

The sampling flow rate is a quantity of considerable significance, firstly because of the uncertainties associated with the measurement, and secondly because of possible associated losses in the sampling device (self-absorption in the sampling filters, loss of aerosols in the aerodynamic sampling circuit).

Thus a STAR shall provide a set of air-flow-rate measuring devices with a sufficiently high-precision to assess the sampling characteristics of an instrument to be tested. Calibration of the flow rate measuring devices shall be done in a specific facility.

The ranges of flow rates to be monitored depend on where the equipment being tested is to be used. Individual instruments or those requiring a low sensitivity (surveillance of underground atmospheres, integrating instruments, etc.) will have sampling rates ranging from some $10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ to $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, while instruments for monitoring the environment will cover a much wider range from $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ to $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Equipment under test with high sampling flow rates may significantly change STAR conditions in respect to aerosol concentration, volumic activity and homogeneity.

5.3.6 Analysis and control of climatic parameters

Climatic parameters such as temperature, atmospheric pressure and relative humidity shall be measured. When a STAR is used for the determination of the influence of climatic parameters, those parameters shall be measured and controlled.

These parameters should be tested to assess the homogeneity of the STAR atmosphere, for example with the measurement of flow rates or velocity profile at dynamic conditions.

6 Requirements for the reference atmosphere provided by STAR

6.1 General

The STAR should be chosen according to the instrument to be tested.

With respect to the test requirements, the operating conditions inside STAR shall lie within specified limits depending on the equipment used for monitoring and analysis. This shall assure its capability of achieving the accuracy required.

The precision of the indication of certain types of instruments may be influenced by different influence quantities, for example temperature, aerosol size and aerosol plate-out on the walls of the STAR, equilibrium factor, aerodynamic properties of the sampling device, etc.

The tests conducted with a STAR should indicate, after agreement between manufacturer and user, the values of the influence quantities used, both for reference and variable conditions.

Characteristics of atmospheres that can be simulated in a STAR can be found in Annex A.

6.2 Reference conditions

Table 1 contains the set of parameters which are relevant for monitoring the reference atmosphere to carry out type tests of instruments for radon decay products. When the STAR is used for tests of radon instruments only, the set of parameters can be reasonable reduced. At least, the climatic parameters temperature, relative humidity, atmospheric pressure, and ambient gamma dose rate shall be monitored.

Table 1 – Reference and standard test conditions

Influence quantity	Reference conditions	Standard test conditions
Temperature	20 °C	18 °C to 22 °C
Relative humidity	50 %	40 % to 60 %
Atmospheric Pressure	1 013 hPa	860 hPa to 1 060 hPa
Ambient γ dose rate		$<0,25 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$
Unattached fraction		$<0,25$
Volume number of aerosols	$10^{10} \text{ particle} \cdot \text{m}^{-3}$	$10^8 \text{ particle} \cdot \text{m}^{-3}$ to $10^{12} \text{ particle} \cdot \text{m}^{-3}$
Aerosol size (AMTD or AMAD)*	0,2 μm	0,1 μm to 0,3 μm
* No requirement on the geometric standard deviation.		

The standard sampling flow rate needed for testing a particular device is defined by the manufacturer of the device under test.

The protocols for testing the instruments are described in IEC 61577-2 and IEC 61577-3.

The STAR should be capable of being used for testing equipment with values of radon volumic activity varying from 1/3 to 2/3 of each range of measurement indicated on the equipment under test. A value situated between $100 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ and $1\,000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ can be adopted for the activity of ^{222}Rn and 0,4 for the equilibrium factor as basic standard test conditions, enabling one identical operating point to be obtained for all the equipments under test. Other values can be agreed upon between the operator of the STAR and the manufacturer of the instrument.

6.3 Influence quantities

6.3.1 General

The Table 2 summarizes the range of variation of the influence quantities.

Table 2 – Tests with variation of the influence quantities

Influence quantities	Range of values (unless otherwise indicated by the manufacturer)
Temperature	-25 °C to $+50 \text{ °C}$
Relative humidity	10 % to 100 % (condensing)
Atmospheric pressure	800 hPa to 1 080 hPa
Ambient γ dose rate	to be defined between STAR operator and manufacturer or user
^{222}Rn volumic activity (for ^{220}Rn measuring instruments)	$10 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to $1 \text{ MBq} \cdot \text{m}^{-3}$
^{220}Rn volumic activity (for ^{222}Rn measuring instruments)	$10 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to $1 \text{ MBq} \cdot \text{m}^{-3}$
$C_{\text{eq}222}$ ($C_{\text{eq}220}$ measuring instruments)	$2 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to $1 \text{ MBq} \cdot \text{m}^{-3}$
$C_{\text{eq}220}$ ($C_{\text{eq}222}$ measuring instruments)	$0,05 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to $100 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$
Unattached fraction of RnDP_{222}	up to 0,9
Volume number of aerosols	$10^8 \text{ particle} \cdot \text{m}^{-3}$ to $10^{12} \text{ particle} \cdot \text{m}^{-3}$
Aerosol size ^a (AMTD or AMAD)	$10^{-3} \mu\text{m}$ to $10 \mu\text{m}$
^a Tests with variation of aerosol size will be done after agreement between STAR operator, manufacturer and user.	

6.3.2 Temperature

Temperature is a quantity of considerable significance. It has an effect on the measuring devices in the detection system, on the associated analogue electronics and on the system used for displaying the results (liquid crystal display). It affects the aerodynamic characteristics of the sampling devices and the lifetime of primary or secondary batteries. It can also affect the parameters governing the behaviour of aerosols.

The reference temperature will be +20 °C with tolerances allowing variations from +18 °C to +22 °C.

The temperature range being used for the tests with variation of the influence quantities should be in accordance with the different atmospheres described in Annex A:

- –25 °C to +50 °C for external atmospheres;
- +5 °C to +40 °C for domestic atmospheres;
- 0 °C to +60 °C for underground atmospheres;
- –10 °C to +50 °C for soil atmospheres.

Other temperature ranges can be used after agreement between manufacturer and user.

6.3.3 Relative humidity

The humidity of the test atmosphere is a quantity of considerable significance for detection systems. In particular, condensation onto a detector, for example, can cause a reduction in performance and possibly bring about contamination. It also has a significant effect on the physical behaviour of aerosols and possibly on the operation of the sampling systems (clogging of hygroscopic filters, electrostatic collection systems, etc.).

The reference value will be 50 % RH with tolerances allowing variations from 40 % RH to 60 % RH.

The range of relative humidity being used for the tests with variation of the influence quantities should be in accordance with the different atmospheres described in Annex A:

- 10 % RH to 100 % RH (condensing) for external atmospheres;
- 10 % RH to 70 % RH for domestic atmospheres;
- 10 % RH to 100 % RH (condensing) for underground atmospheres;
- 80 % RH to 100 % RH (condensing) for soil atmospheres.

Other relative humidity ranges can be used after agreement between manufacturer and user.

6.3.4 Atmospheric pressure

Atmospheric pressure is a quantity of considerable significance for radioactivity measurements in certain cases:

- measuring instruments operating under pressure (e.g. measurement of radon in drilling);
- detectors needing a large path for alpha particles in air: in this case, the detection efficiency may be changed by a variation in pressure.

The characteristics of the sampling devices may be sensitive to pressure variations and the system for measuring the sampling rates of the STAR shall enable this effect to be quantified.

The reference value is 1 013 hPa.

The range of variation in atmospheric pressure (apart from instruments under pressure which should be tested up to their maximum operating pressure) is from 800 hPa to 1 080 hPa.

Other pressure ranges can be used after agreement between manufacturer and user.

6.3.5 Ambient gamma field

The standard test conditions should be conducted with an effective dose rate below $0,25 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$.

The ambient gamma field can have a considerable effect on the response of measuring instruments. For example, instruments using the detection of beta-particles, or ionization chambers are also sensitive to ambient γ radiation. Tests of this type of instrument should specify the magnitude of this effect under test conditions.

6.3.6 Working range for exposure to RnDP

The range of PAEC instruments normally covers the working range to assess exposure to RnDP. Attention should be given to the fact that, for testing measuring devices in the upper part of their range of operation, the atmosphere should be kept at a high level of stability for a time period lasting at least one day.

6.3.7 Working range for aerosols

The working range for aerosols shall cover at least the typical range of size and distribution of the aerosol existing in the atmosphere for the measurement of which the instrument under test has been designed. In particular cases, this range may be extended or restricted after agreement between manufacturer and user.

The reference aerosol size will have an AMAD of $0,2 \mu\text{m}$ and the standard deviation of the distribution as well as the nature of the aerosol will depend upon the aerosol generator used.

The aerosol size to be used with tests with variation of the influence quantities will range from $10^{-3} \mu\text{m}$ to several tens of μm .

One has to keep in mind that the quality of the aerosol sampling will have a great influence on the measurement result (i.e. bad designed air inlet may cause aerosol losses by deposition).

6.3.8 Exposure time for the instrument under test

Time shall be considered as a quantity of considerable significance for all instruments using integration or grab sampling. For other types of instruments, it should be taken into account if the duration of the analysis, either of the background noise or of the signal, is variable or adjustable (e.g. by modification of the detection threshold, etc.).

Furthermore, if the instrument under test has a time constant which is large compared with the time occupied by fluctuations experienced during use, the STAR shall allow for a simulation of these fluctuations which is as close to reality as possible.

7 Calibration and traceability of measurement methods and instruments used in a STAR

7.1 Traceability chains

The operator of the STAR shall ensure that all relevant measurement results are traceable to an appropriate primary standard using SI units.

The following measurements are directly traceable:

- temperature,
- humidity,
- atmospheric pressure,
- volumic activity of ^{222}Rn ,
- sampled air volume.

Procedures for tracing back the measurements to recognised standards are not established for all quantities. This concerns measurements of volume number and distribution of aerosol particles in particular. The STAR operator should set up appropriate procedures to validate these measurements. The validation may include interlaboratory comparisons [6, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 16].

The traceability of radon activity concentration in a reference chamber is established by using either a radon gas primary standard or one or more reference instruments (secondary standard). Radon gas activity concentration is produced by insertion of a known amount of radon gas activity into a calibrated reference volume. A traceable amount of radon gas activity can be either supplied by primary standard laboratories or obtained by quantitative extraction of radon gas from a certified ^{226}Ra solution (bubbler method). The radon gas is introduced into the test instrument either by enclosing the instrument into the reference volume or by quantitative transfer from the reference volume into the instrument. The activity concentration chosen for the point of calibration is calculated and compared to the output from the system under evaluation so as to calculate the calibration factor and thereby calibrate the instrument. The system can then be used as a secondary standard or reference instrument.

The PAEC_{222} and RnDP_{222} volumic activity of the reference atmosphere can be traced by sampling the RnDP_{222} using a filter assembly, preferably, in an open face device. After sampling, the nuclear disintegration on the filter is measured by an alpha and a gamma spectrometer, simultaneously. The equipment shall be able to detect alpha particles emitted by ^{218}Po and ^{214}Po and gammas from ^{214}Pb and ^{214}Bi . From the number of disintegrations of ^{218}Po and ^{214}Po , the RnDP_{222} activity and the potential alpha-energy are calculated. Volumic activities and PAEC are obtained after dividing by the sampled air volume. In order to calibrate the equipment taking the measuring geometry into account a sealed surface source containing ^{226}Ra in equilibrium with ^{222}Rn and RnDP_{222} can be applied. The active areas of the sealed source and the aerosol filter should preferably have the same dimensions. The source is used to calibrate the alpha counts measured in terms of disintegration on the whole filter by exploiting the relation of gamma measurement and source activity of the corresponding ^{214}Bi . [5,8]

7.2 Quality assurance

The laboratory, where the STAR is, shall maintain a quality assurance system for the STAR activities.

Quality assurance shall include verification of quality control which involves all the actions by which the adequacy of equipment, instruments and procedures are assessed against established requirements. It shall ensure that equipment and instruments function correctly, that the procedures are correctly established and followed, that analyses are correctly performed, that quantifiable errors are within acceptable limits, and that records are correctly and promptly maintained. The quality assurance programme and the regular checks performed for quality control shall be fully documented.

General requirements for the competence of testing laboratories are set out by ISO/IEC 17025.

Annex A (informative)

Characteristics of atmospheres that can be simulated in a STAR

A.1 General

The instruments to be tested in a STAR are designed to be used in different atmospheres, as described hereafter. The STAR therefore shall be able to simulate at least part of the characteristics of these atmospheres.

The Table A.1 provides information concerning the typical values found in these atmospheres. Working ranges of the apparatus to be tested are included in those typical values.

A.2 Outdoor atmosphere

An outdoor atmosphere is characterized by a range of radon volume activities and a distribution of aerosols typical to those encountered naturally over terrestrial surfaces.

A.3 Indoor atmosphere

An indoor atmosphere is characterized by a range of radon volume activities and a distribution of aerosols typical to those encountered in a building. The latter is partly dependent on the life style of the inhabitants (cooking, tobacco smoke, ventilation, etc.), or on the level of working activity.

A.4 Underground atmosphere

An underground atmosphere is characterized mainly by its range of radon volume activities and by the residence time of the air. It may also be saturated with moisture.

In the case of mines, the particle size distribution and the electric charge of the aerosols in such an atmosphere are markedly variable both in space and time and may be influenced by engine exhausts, oil fumes, smoke from blasting, etc.

A.5 Soil atmosphere

A soil atmosphere is characterized mainly by its range of radon volume activities. It is also often saturated with moisture.

This standard concerns also soil atmosphere, because soil radon is of considerable interest for radiation protection purposes, as the major source of radon for dwelling and indoor working places. Therefore, measurements have to be made in order to assess the propensity of a soil to produce radon (i.e. before to build a dwelling).

In some cases, the carrier gas can be different from air, i.e. CO₂.

Table A.1 – Atmosphere characteristic ranges (typical values)

	Working Ranges			
	Outdoor* atmosphere	Indoor** atmosphere	Underground atmosphere	Soil atmosphere
^{222}Rn volumic activity	10 Bq · m ⁻³ to 50 kBq · m ⁻³	10 Bq · m ⁻³ to 100 kBq · m ⁻³	100 Bq · m ⁻³ to 1 MBq · m ⁻³	100 Bq · m ⁻³ to 1 MBq · m ⁻³
^{220}Rn volumic activity	10 Bq · m ⁻³ to 10 kBq · m ⁻³	10 Bq · m ⁻³ to 50 kBq · m ⁻³	100 Bq · m ⁻³ to 5 MBq · m ⁻³	100 Bq · m ⁻³ to 1 MBq · m ⁻³
Equilibrium factor F for ^{222}Rn	0,2 to 0,6	0,2 to 0,8	0,1 to 0,8	N/A (not applicable)
Unattached fraction of RnDP_{222}	0,03 to 0,9	0,03 to 0,7	0,03 to 0,9	N/A
PAEC_{222}	11 nJ · m ⁻³ to 170 μJ · m ⁻³	11 μJ · m ⁻³ to 450 μJ · m ⁻³	56 nJ · m ⁻³ to 4,5 mJ · m ⁻³	N/A
PAEC_{220}	4 nJ · m ⁻³ to 152 nJ · m ⁻³	4 nJ · m ⁻³ to 6 μJ · m ⁻³	No data	N/A
$C_{\text{eq}222}$	2 Bq · m ⁻³ to 30 kBq · m ⁻³	2 Bq · m ⁻³ to 80 kBq · m ⁻³	10 Bq · m ⁻³ to 0,8 MBq · m ⁻³	N/A
$C_{\text{eq}220}$	0,05 Bq · m ⁻³ to 2 Bq · m ⁻³	0,05 Bq · m ⁻³ to 76 Bq · m ⁻³	No data	N/A
Volume number of aerosols	10 ⁶ particle · m ⁻³ to 10 ¹² particle · m ⁻³	10 ⁸ particle · m ⁻³ to 10 ¹⁴ particle · m ⁻³	10 ¹⁰ particle · m ⁻³ to 10 ¹⁴ particle · m ⁻³	N/A
Aerosol size	10 ⁻³ μm to 0,5 μm	10 ⁻³ μm to 10 μm	10 ⁻³ μm to 10 μm	N/A
* In the neighbourhood of uranium mine tailings, outdoor radon volumic activity may rise up to 50 kBq · m⁻³. ** In storage areas for radium sources, radon volumic activity can range up to 100 kBq · m⁻³. Remark: In certain cases the range of volume activities may cover over six orders of magnitude.				

Bibliography

- [1] P. K. Hopke, Health Physics, vol 64, n°5, p 459 (1993)
- [2] W. C.Hinds, Aerosol Technology, Properties, Behavior and measurement of airborne Particles (1999)
- [3] R. Dersch, U. Schötzgig, Production and measurement of ^{222}Rn standards, Appl. Radiat. Isot., Vol. 49, p.1171-1174, (1998)
- [4] J. L. Picolo, D. Pressyanov, P. Blanchis, N. Michielsen, V. Voisin and K. Turek. A radon-222 metrological chain from primary standard to field detectors. International Conference on radionuclide metrological and its applications, ICRM'99, Prague. (1999).
- [5] A. Paul, S. Röttger, A.Honig, T.Sulima, A. Buchholz and U.Keyser, Measurement of short-lived radon progenies by $\alpha\gamma$ -spectrometry at the radon reference chamber. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Vol. A434, p.303-312, (1999)
- [6] Maringer et al. The Austrian radon intercomparison exercise 1992-1996. Proc. IRPA reg. Symp. Rad. Prot. In Neighbouring Countries of central Europe, Tech Univ. Prague, p 150-153 (1997)
- [7] G. Butterweck, Ch. Schuler, A. Paul, A. Honig, R. Dersch, V. Schmidt, P. Hamel, H. Buchenröder, A. Rox and W. Herzog. Intercomparison exercise of the PTB, BfS, MPA and PSI calibration facilities for radon gas concentration. Radiat. Prot. Dosim. 98(2):219-222 (2002)
- [8] R. Falk, N. Hagberg, L. Mjönes, H. Möre, L. Nyblom and G. A. Swedjemark. Standards, calibration and quality assurance of ^{222}Rn measurements in Sweden, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 339, Issues 1-2, 22 January 1994, Pages 254-263
- [9] A. Röttger, A. Honig, G. Butterweck, Ch. Schuler, V. Schmidt, H. Buchenröder, A. Rox, G.M. Kendall, J.C.H. Miles, I. Burian, N. Michielsen, V. Voisin, F.J. Maringer, A. Vargas, Intercomparison exercise of calibration facilities for radon gas activity concentration, VII International Symposium on Natural Radiation Environment (NRE VII), 20–24 May, Rhodes, Greece (2002)
- [10] Y. S. Cheng, J. A. Keating and G. M. Kanapilly, Theory and calibration of a screen-type diffusion battery. Journal of Aerosol Science, Vol.11, p.549-556 (1980)
- [11] Pineau, J.F., "Results of the 1st European Intercomparison of radon and radon daughters measurement methods and devices in an underground mine atmosphere" - CEC 1424/1/84, nov. 1985
- [12] Bertrand, C., Gibaud, C., Janot, M., Pineau, J.F., "Results of the 2nd European Intercomparison of radon and radon daughters measurement methods and devices in an underground mine atmosphere" - CEC B16/0340/F (1990)
- [13] Knutson, E. O. (editor). International intercalibration and intercomparison programme for radon, thoron and daughters measuring equipment:
 Part I. Radon measurement. Paris, OECD (1983)
 Part II. Radon measurement. Paris, OECD (1983)
 Part III. Radon measurement. Paris, OECD (1983)
- [14] E.Gargioni, A.Honig, A.Röttger, 'Development of a calibration facility for the measurement of the thoron activity concentration', Nuclear Instr. And Meth. In Phys. Research, A 506, 2003, 166-172

- [15] Röttger, A., Honig, A., Butterweck, G., Schuler, Ch., Schmidt, V., Buchröder, H., Rox, A., Kendall, G.M., Miles, J.C.H., Burian, I., Michielsen, N., Maringer, F.J., Vargas, A.. Comparison of calibration facilities for radon activity concentration: Euromet Project 657. Metrologia, 2005, 42, Tech. Suppl. 06003
 - [16] Tokonami, S., Ishimori, Y., Ishikawa, T., Yamazaki, K., Yamada, Y.. Intercomparison exercise of measurement techniques for radon, radon decay products and their particle size distributions at NIRS. Jpn. J. Health Phys., 40(2):193-190 (2005)
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	32
INTRODUCTION.....	34
1 Domaine d'application et objet.....	35
2 Références normatives.....	35
3 Termes, définitions et unités.....	36
3.1 Termes et définitions généraux	36
3.2 Termes et définitions spécifiques	37
3.3 Unités et facteurs de conversion	40
4 Description générale d'un STAR.....	41
4.1 Généralités.....	41
4.2 Mode de fonctionnement d'un STAR.....	42
4.2.1 Mode de fonctionnement statique	42
4.2.2 Mode de fonctionnement dynamique.....	42
5 Caractéristiques d'un STAR.....	44
5.1 Généralité	44
5.2 STAR pour le radon.....	44
5.2.1 Généralité	44
5.2.2 Caractéristiques techniques des enceintes de STAR	44
5.2.3 Les sources de radon	44
5.2.4 Analyse et contrôle du ^{222}Rn et du ^{220}Rn	45
5.2.5 Analyse et contrôle des paramètres climatiques	46
5.3 STAR pour le radon et les RnDP	46
5.3.1 Généralités.....	46
5.3.2 Caractéristiques techniques des enceintes du STAR	46
5.3.3 Les sources de RnDP	46
5.3.4 Analyse et contrôle des RnDP	47
5.3.5 Débit d'échantillonnage des instruments en essai.....	48
5.3.6 Analyse et contrôle des paramètres d'ambiance	48
6 Exigences concernant l'atmosphère de référence produite par un STAR	48
6.1 Généralités.....	48
6.2 Conditions de référence	49
6.3 Grandeurs d'influence	49
6.3.1 Généralités.....	49
6.3.2 Température.....	50
6.3.3 Humidité relative	50
6.3.4 Pression atmosphérique	51
6.3.5 Rayonnement gamma ambiant	51
6.3.6 Domaine de fonctionnement pour l'exposition aux RnDP	51
6.3.7 Domaine de fonctionnement pour les aérosols.....	52
6.3.8 Temps d'exposition pour les instruments en essai	52
7 Etalonnage et traçabilité des méthodes et instruments de mesure utilisés dans un STAR	52
7.1 Chaîne métrologique	52
7.2 Assurance qualité.....	53
Annexe A (informative) Caractéristiques des atmosphères pouvant être simulées par un STAR.....	54

Bibliographie.....	56
Figure 1 – Constitution d'un STAR: cas général	41
Figure 2 – Exigences minimums d'un STAR.....	42
Figure 3 – Mode de fonctionnement dynamique d'un STAR	43
Tableau 1 – Conditions de référence et d'essai normalisées	49
Tableau 2 – Essais avec variation des grandeurs d'influence.....	50
Tableau A.1 – Domaine caractéristique des atmosphères (valeurs typiques)	55

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 4: Dispositif pour la réalisation d'atmosphères de référence contenant des isotopes du radon et leurs descendants (STAR)

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 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 61577-4 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/598/FDIS	45B/606/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.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61577, présentées sous le titre général *Instrumentation pour la radioprotection – Instruments de mesure du radon et des descendants du radon*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

INTRODUCTION

Le radon est un gaz radioactif produit par la désintégration des ^{226}Ra , ^{223}Ra et ^{224}Ra , respectivement produits de désintégration de ^{238}U , ^{235}U et ^{232}Th qui sont présents dans la croûte terrestre. En se désintégrant, les isotopes du radon (c'est-à-dire ^{222}Rn , ^{219}Rn , ^{220}Rn) génèrent trois chaînes de désintégration finissant chacune par un isotope stable du plomb.

NOTE Dans des conditions normales, du fait de la très courte période du ^{219}Rn , son activité et celle de ses RnDP¹ sont considérées comme négligeables comparées aux activités des deux autres séries. Ses effets sur la santé sont donc insignifiants. Cette norme ne concerne donc pas le ^{219}Rn et ses descendants.

Les isotopes du radon et leurs descendants à vie courte (RnDP) (c'est-à-dire ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po pour le ^{222}Rn , et ^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{212}Po , ^{208}Tl pour le ^{220}Rn) sont d'une importance considérable puisqu'ils constituent la majeure partie de l'exposition des populations et des travailleurs 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 de RnDP. 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. 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.

Remarque:

Afin de faciliter son utilisation, la série CEI 61577 est divisée de la façon suivante:

CEI 61577-1: Cette norme présente plus particulièrement la terminologie et les unités utilisées dans le domaine spécifique de la mesure du radon et de ses descendants à vie courte (RnDP) et présente brièvement le Système de Test en Atmosphères contenant du Radon STAR utilisée pour tester et étalonner les appareils de mesure du radon et de ses descendants à vie courte.

CEI 61577-2: Cette partie est dédiée aux tests des appareils de mesure du ^{222}Rn et du ^{220}Rn .

CEI 61577-3: Cette partie est dédiée aux tests d'appareils de mesure des RnDP₂₂₂ et des RnDP₂₂₀.

CEI 61577-4: Cette norme décrit les différents constituants d'un STAR et comment l'utiliser pour réaliser les essais d'instruments de mesure.

¹ RnDP est l'acronyme de «Radon Decay Products» et est équivalent au terme «descendants du radon» (voir [1] dans la Bibliographie).

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

Partie 4: Dispositif pour la réalisation d'atmosphères de référence contenant des isotopes du radon et leurs descendants (STAR)

1 Domaine d'application et objet

La série de normes CEI 61577 traite des caractéristiques générales concernant les essais et étalonnages des instruments de mesure du radon et de ses descendants. Elle a aussi pour but d'aider à la définition des essais de type à effectuer pour qualifier ces instruments. Ces essais de type sont décrits dans les normes CEI 61577-2 et CEI 61577-3. La présente norme ne concerne que les instruments et les méthodes associées permettant la mesure des isotopes 220 et 222 du radon et leurs descendants à vie courte dans les gaz.

La norme CEI 61577-4 concerne le Système de Test en Atmosphères contenant du Radon (STAR) servant à tester, dans une atmosphère de référence, les instruments mesurant le radon et les RnDP. Cette norme ne prétend ni résoudre tous les problèmes associés à la mise en place du matériel nécessaire pour la création des atmosphères de référence pour le radon et ses descendants ni décrire toutes les méthodes possibles. Cependant, elle se veut être un guide pour aider ceux qui se trouvent confrontés à de tels problèmes et pour leur permettre de choisir les meilleures méthodes à adopter en toute connaissance de cause.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050-111:1996, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 111: Physique et chimie*

CEI 60050-393:2003, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 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 61577 (toutes les parties), *Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension de 1 000 V c.a. et 1 500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection*

ISO/IEC Guide 99:2007, *Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*

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

CIPR 32: *Annals of the ICRP, Publication N° 32, Limits for inhalation of Radon Daughters by Workers, Vol. 6, N°1, 1981, Pergamon Press* (disponible en anglais seulement)

CIPR 38: *Annals of the ICRP, Publication N° 38, Radionuclides transformations, Energy and Intensity of Emissions, Vol. 11 – 13, Pergamon Press, 1983* (disponible en anglais seulement)

CIPR 65: *Annals of the ICRP, Publication N° 65, ICRP Publication 65: Protection against Radon-222 at Home and at Work, Vol. 23/2, Pergamon Press, 1994* (disponible en anglais seulement)

3 Termes, définitions et unités

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

Dans l'ensemble de la présente norme, le terme 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). Pour des raisons historiques, le ^{220}Rn est aussi appelé thoron.

Le terme DESCENDANTS 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 222 , 220 ajoutés à l'abréviation RnDP désignent tous les descendants à vie courte de l'isotope radon correspondant (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po), (^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{212}Po , ^{208}Tl).

Toutes les données nucléaires utilisées dans le présent document proviennent de la CIPR 38, car cette norme concerne principalement les instruments utilisés en radioprotection.

3.1 Termes et définitions généraux

3.1.1 activité

A

quotient, pour une quantité de noyaux atomiques radioactifs dans un état d'énergie particulier à un instant donné, de dN par dt , où dN est l'espérance mathématique du nombre de transitions nucléaires spontanées à partir de cet état d'énergie pendant l'intervalle de temps de durée dt :

$$A = \frac{dN}{dt}$$

NOTE Cette grandeur s'exprime en becquerels (Bq).

[VEI 393-14-12]

3.1.2 activité volumique

C_A

quotient de l'activité par le volume total de l'échantillon

NOTE 1 Dans le cas d'un gaz, il convient d'indiquer les conditions de température et de pression pour lesquelles l'activité volumique, exprimée en becquerel par mètre cube, est mesurée, par exemple pour des températures et pression normales (TPN).

NOTE 2 Cette grandeur s'exprime en becquerels par mètre cube ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$).

[VEI 393-14-16]

3.1.3 étalon primaire

étalon qui est désigné ou largement reconnu comme présentant les plus hautes qualités métrologiques et dont la valeur est établie sans se référer à d'autres étalons de la même grandeur

NOTE Le concept d'étalon primaire est valable aussi bien pour les grandeurs de base que pour les grandeurs dérivées.

[VIM, 5.4, modifié]

3.1.4

étalon secondaire

étalon dont la valeur est établie par comparaison à un étalon primaire de la même grandeur

[VIM, 5.5, modifié]

3.1.5

étalon de référence

étalon, en général de la plus haute qualité métrologique disponible en un lieu donné ou dans une organisation donnée, dont dérivent les mesurages qui y sont faits

[VIM, 5.6, modifié]

3.1.6

débit massique

($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

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

3.1.7

débit volumique

($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

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

3.1.8

aérosol, m

ensemble de particules solides ou liquides en suspension dans un milieu gazeux

NOTE Le diamètre des particules est en général compris entre quelques nanomètres et 10 μm .

[VEI 393-11-37]

3.1.9

homogène

qualifie un milieu matériel physique dans lequel les propriétés pertinentes sont indépendantes de la position

[VEI 111-13-08]

3.1.10

valeur conventionnellement vraie d'une grandeur

v_c

valeur attribuée à une grandeur particulière et reconnue, parfois par convention, comme la représentant avec une incertitude appropriée pour un usage donné

NOTE La valeur conventionnellement vraie d'une grandeur est quelquefois appelée valeur assignée, meilleure estimation de la valeur, valeur convenue ou valeur de référence.

[VEI 394-40-10]

3.2 Termes et définitions spécifiques

3.2.1

énergie alpha potentielle

EAP ou ε_p

énergie alpha totale émise pendant la désintégration d'atomes de RnDP le long de la chaîne, jusqu'au ^{210}Pb ou ^{208}Pb respectivement pour les chaînes du ^{222}Rn et du ^{220}Rn

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

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

où N est le nombre d'atomes

NOTE 1 L'énergie alpha de 7,804 MeV correspond à une émission alpha virtuelle due à l'embranchement du ^{212}Bi .

NOTE 2 La Limite Annuelle d'Incorporation (LAI) peut être exprimée en fonction de l' EAP_{222} et de l' EAP_{220} . C'est pour cette raison que l' EAP_{222} et l' EAP_{220} sont utilisés comme indicateur du risque sanitaire.

[CIPR 32]

3.2.2

énergie alpha potentielle volumique

EAP_v ou c_p

concentration dans l'air d'un mélange quelconque de descendants à vie courte du radon se désintégrant jusqu'au ^{210}Pb ou ^{208}Pb

NOTE Cette quantité s'exprime dans le système international (SI) en $J \cdot m^{-3}$.

[CIPR 32]

3.2.3

exposition à l'énergie alpha potentielle volumique

$P_p(T)$

intégrale sur le temps de l'énergie alpha potentielle volumique dans l'air, c_p , à laquelle un individu est exposé sur une période de temps donnée T , par exemple sur un an.

$$P_p(T) = \int_T c_p(t) \cdot dt$$

NOTE Cette quantité s'exprime dans le SI en $J \cdot m^{-3} \cdot h$.

[CIPR 65]

3.2.4

activité volumique équivalente à l'équilibre

c_{eq}

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

NOTE Cette quantité s'exprime dans le SI en $Bq \cdot m^{-3}$.

[CIPR 32]

3.2.5

facteur d'équilibre

F

rapport entre l'activité volumique équivalente du radon à l'équilibre et l'activité volumique du gaz radon

$$F = \frac{c_{eq}}{C_{Rn}}$$

[CIPR 65]

3.2.6

coefficient d'émanation

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

$$\tau = \frac{n}{N}$$

3.2.7**taux d'émanation**

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

NOTE Ceci est exprimé en $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

3.2.8**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

3.2.9**diamètre aérodynamique médian en activité****AMAD** [2]²

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

3.2.10**diamètre thermodynamique médian en activité****AMTD**

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

3.2.11**fraction libre de l'EAPv**

fraction de l'énergie alpha potentielle volumique des RnDP non attachés à l'aérosol ambiant

NOTE La taille des particules concernées est de l'ordre du nm.

[CIPR 65]

3.2.12**fraction attachée**

la fraction de l'énergie alpha potentielle volumique des descendants du radon à vie courte attachés à l'aérosol ambiant

NOTE La taille de l'aérosol porteur, auquel sont attachés les RnDP, est généralement comprise entre $0,1 \mu\text{m}$ et $0,3 \mu\text{m}$.

3.2.13**prélèvement ponctuel**

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

3.2.14**méthode de mesure en continu**

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

² Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

3.2.15

méthode de mesure intégrée

méthode basée sur la mesure de l'intégrale de la grandeur considérée sur une période définie comprenant la durée du prélèvement et la durée de mesure

3.2.16

prélèvement passif

prélèvement d'un instrument n'utilisant pas de dispositifs actifs comme des pompes pour prélever dans l'atmosphère

NOTE Dans ce cas, le prélèvement s'effectue essentiellement par diffusion.

3.2.17

prélèvement actif

prélèvement d'un instrument utilisant des dispositifs actifs comme des pompes pour les prélèvements dans l'atmosphère

3.2.18

source de référence

source radioactive étalon secondaire utilisée pour étalonner un appareil de mesure

[VEI 394-40-19]

3.2.19

atmosphère de référence

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

3.2.20

Système de Test en Atmosphères contenant du Radon

STAR

système désignant un équipement où l'on crée et utilise une atmosphère de référence

3.2.21

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 µm

3.3 Unités et facteurs de conversion

La présente norme utilise le Système International d'unités (SI).

Note les unités «non réglementaires» suivantes sont parfois encore utilisées:

Curie (Ci), unité d'activité:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

MeV · l⁻¹, unité d'énergie alpha potentielle volumique

$$1 \text{ MeV} \cdot \text{l}^{-1} = 1,6 \times 10^{-4} \text{ µJ} \cdot \text{m}^{-3}$$

Les facteurs de conversion suivants sont donnés à titre d'information:

Working Level (WL), quantité d'énergie alpha potentielle volumique

$$1 \text{ WL} = 20,8 \text{ µJ} \cdot \text{m}^{-3}$$

Working Level Month (WLM), quantité d'exposition à l'énergie alpha potentielle

$$1 \text{ WLM} = 3,6 \text{ mJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$$

Une activité de 1 Bq · m⁻³ de ²²²Rn à l'équilibre avec ces RnDP₂₂₂, est équivalent à une Energie Alpha Potentielle volumique, EAP_{v222}, de 5,62 × 10⁻⁹ J · m⁻³

Une activité de 1 Bq · m⁻³ of ²²⁰Rn à l'équilibre avec ces RnDP₂₂₀, est équivalent à une Energie Alpha Potentielle volumique, EAPv₂₂₀, de 75,8 × 10⁻⁹ J · m⁻³.

4 Description générale d'un STAR

4.1 Généralités

La nécessité d'une atmosphère de référence relève de la nécessité de disposer d'essais complets et standardisés, dans des conditions contrôlées, des appareils de mesure concernés.

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:

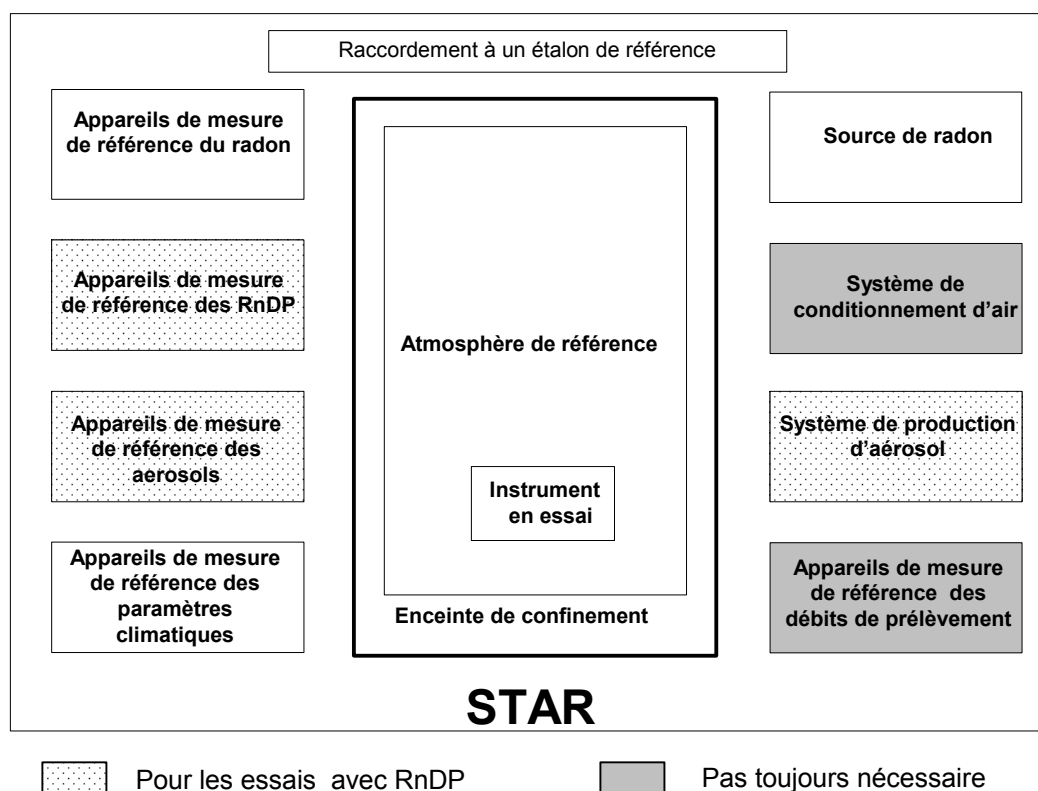
- le dispositif pour la production de l'atmosphère;
- le dispositif pour contenir l'atmosphère;
- l'atmosphère de référence ainsi créée;
- le matériel et les méthodes pour la surveillance en continu de cette atmosphère.

Les équipements utilisés pour caractériser l'atmosphère doivent être traçable à un étalon primaire.

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

La Figure 1 montre la structure générale d'un STAR complet.

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



IEC 270/09

Figure 1 – Constitution d'un STAR: cas général

Il est aussi possible que certains STAR ne comptent que certaines parties du système complet. Par exemple, un STAR utilisé uniquement pour tester les instruments de mesure du radon, qui ne sont pas affectés par les aérosols et RnDP dans l'atmosphère, n'a pas besoin d'équipements spécifiques pour contrôler les quantités liées à ces effets. La Figure 2 illustre cette configuration minimum.

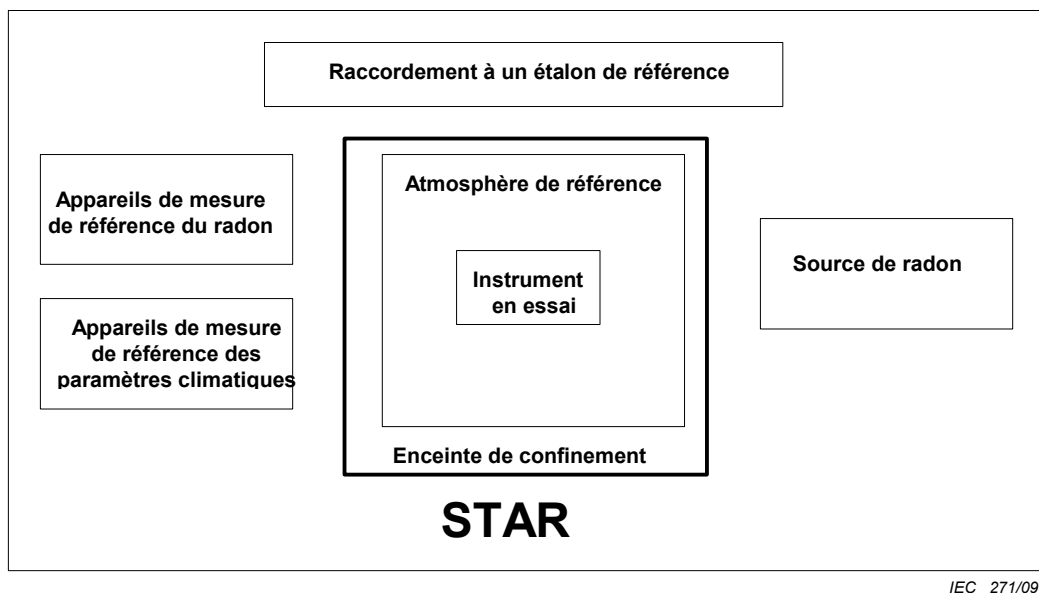


Figure 2 – Exigences minimums d'un STAR

Les équipements utilisés pour contenir l'atmosphère de référence peuvent être classés en deux catégories principales:

- enceintes de confinement larges (volume intérieur de plusieurs m³), souvent appelé « walk in », permet aux opérateurs de manipuler les appareils à l'intérieur de l'enceinte;
- petites enceintes contenant seulement les instruments à tester.

4.2 Mode de fonctionnement d'un STAR

4.2.1 Mode de fonctionnement statique

Avec le mode de fonctionnement statique, les conditions à l'intérieur de l'enceinte sont établies au commencement de l'opération.

La source de radon est placée dans ou à l'extérieur de l'enceinte. Le mode de fonctionnement statique peut inclure un ventilateur interne pour homogénéiser l'atmosphère de l'enceinte.

NOTE Les enceintes de confinement fonctionnant en mode statique sont relativement simples à construire et à utiliser, elles permettent de créer et de manipuler diverses atmosphères de référence. Cependant, elles n'offrent que des possibilités limitées de contrôle des conditions internes (atmosphères, aérosols, etc.).

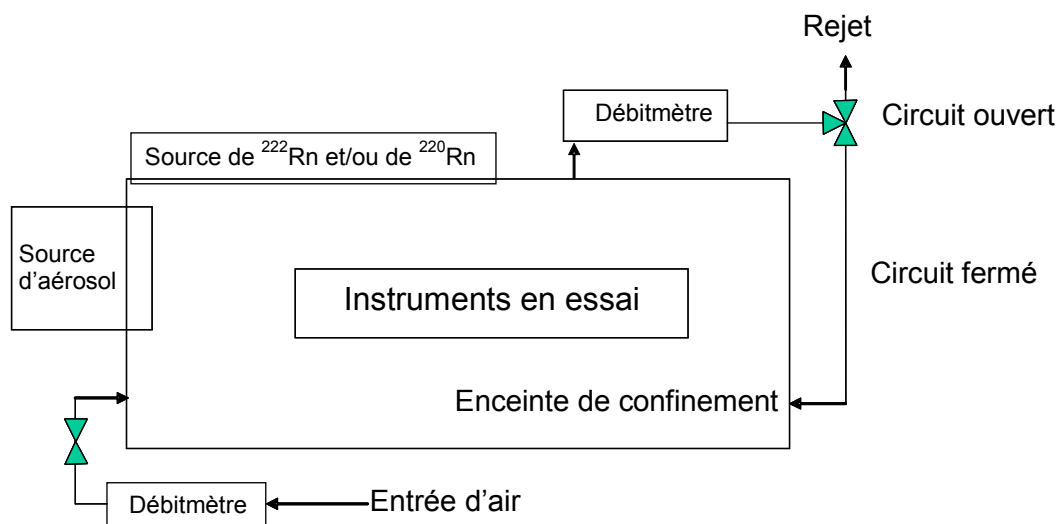
4.2.2 Mode de fonctionnement dynamique

Avec le mode de fonctionnement dynamique, les conditions atmosphériques dans l'enceinte peuvent être contrôlées et modifiées pendant l'exposition des instruments en test.

Le mode de fonctionnement dynamique inclut toujours un système de renouvellement, total ou partiel, de l'atmosphère interne de l'enceinte (Figure 3).

Le mode dynamique peut être utilisé de deux façons (Figure 3):

- en circuit fermé (recirculation de l'atmosphère),
- en circuit ouvert (évacuation partielle ou totale de l'atmosphère).



IEC 272/09

Figure 3 – Mode de fonctionnement dynamique d'un STAR

Les sources de radon sont généralement situées en dehors de l'enceinte, ce qui permet un contrôle, ou du moins une surveillance en continu, des conditions internes.

La source d'aérosol est située à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte.

L'utilisation d'un circuit ouvert peut avoir une influence sur les rejets radioactifs dans l'environnement.

Le circuit fermé sert à contrôler la concentration en aérosol ou le facteur d'équilibre dans l'enceinte.

Les différents modes de fonctionnement d'un STAR impliquent différentes conditions aérauliques qui influencent l'homogénéité ou le comportement des RnDP:

a) Convection

La convection doit être prise en compte dans les modes de fonctionnement statique ou lorsque le taux de renouvellement de l'air est très faible. Ce phénomène peut, dans ces conditions expérimentales, modifier l'homogénéité de l'atmosphère du STAR.

b) Écoulement forcé

Le mode d'écoulement forcé peut avoir une influence sur le comportement des aérosols, principalement par diffusion turbulente et impaction, entraînant une variation du taux de dépôt des RnDP sur les surfaces (mur de l'enceinte, instruments, etc.). Il peut être aussi important pour l'homogénéité de l'atmosphère.

Le taux de renouvellement d'air a une grande influence sur la concentration des RnDP dans l'atmosphère de référence.

5 Caractéristiques d'un STAR

5.1 Généralité

Cet article décrit d'abord les caractéristiques des STARs dédiés à l'établissement de l'atmosphère de référence en radon seulement, puis des STARs établissant l'atmosphère de radon et de RnDP.

5.2 STAR pour le radon

5.2.1 Généralité

Ce type de STAR doit être utilisé seulement pour tester les instruments dont la réponse est indépendante de la grandeur d'influence aérosol. Par conséquent, les instruments mesurant le radon avec un détecteur ouvert ne peuvent pas être testés dans ce STAR.

5.2.2 Caractéristiques techniques des enceintes de STAR

Une enceinte de STAR doit être suffisamment étanche:

- pour garantir la sécurité en confinant de façon efficace toute radioactivité qu'elle est susceptible de contenir;
- pour éviter toute modification imprévue due à des fuites de l'atmosphère de référence.

S'il est de plus, prévu d'y réaliser des essais sous pression, l'enceinte devra supporter la pression interne exigée par ces essais et être homologuée à cet effet par un organisme de contrôle agréé.

Les parois devront être isolées thermiquement (par exemple avec un $R_{th} > 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) lorsque des essais avec variation de la température et de l'humidité sont réalisés conformément au Tableau 2. Quand l'atmosphère de l'enceinte doit être renouvelée en continu, les formes intérieures devraient être conçues afin d'éviter les zones «mortes» mal ventilées, et susceptibles de conduire à une répartition hétérogène des activités volumiques. Ce critère de conception peut aussi faciliter les procédures de vidange et de décontamination de l'atmosphère.

Il convient que les parois internes de l'enceinte soient réalisées d'un matériau lisse, qui ne se corrode pas et qui est un bon conducteur de l'électricité. Ces qualités permettent, outre une décontamination aisée et un piégeage des aérosols par diffusion limité au minimum, d'éviter toute collection parasite des RnDP par effets électrostatiques.

Quel que soit le type d'enceinte utilisée, la manipulation des appareils lors des essais seront autant que possible effectuées de l'extérieur, soit par commande à distance soit au moyen de passages de gants pour réduire au minimum toute perturbation des conditions internes.

Pour la même raison, les enceintes de grandes dimensions devraient être équipées d'un sas, pour introduire les instruments ainsi que pour permettre les entrées et sorties des opérateurs.

Il convient que l'alimentation électrique soit stable en termes de tension et de fréquence et fournisse une puissance suffisante.

NOTE Un emplacement adéquat, où le niveau de radon est minimal, doit être disponible pour entreposer les détecteurs passifs.

5.2.3 Les sources de radon

5.2.3.1 Sources solides

Les sources solides sont constituées en général d'un sel de ^{226}Ra ou de ^{228}Th qui produisent respectivement le ^{222}Rn et le ^{220}Rn . Le sel peut être pur ou bien mélangé avec ou piégé sur

une matrice. La nature de la matrice va déterminer la valeur du coefficient d'émanation ainsi que du taux d'émanation et donc la capacité de la source à fournir des quantités plus ou moins grandes de radon.

Le taux d'émanation est supposé constant. Mais, comme le coefficient d'émanation dépend beaucoup de certains paramètres physiques (humidité relative, etc.), l'utilisation de ces sources nécessite des précautions importantes (contrôle de la température, de l'humidité, etc.). Néanmoins, ces sources sont très utilisées grâce à leur facilité d'emploi.

NOTE D'autres sources solides de radon sont simplement constituées de minerai ou de résidus de traitement de minerai d'uranium ou de thorium enfermés dans un récipient clos; bien que ce type de source soit économique à fabriquer et facile d'emploi, sa stabilité est difficile à obtenir.

5.2.3.2 Sources liquides

Les sources liquides sont en général constituées d'une solution en milieu acide d'un sel de ^{226}Ra ou de ^{228}Th pour obtenir le ^{222}Rn ou le ^{220}Rn , respectivement. Après un laps de temps dépendant de la période de l'isotope du radon considéré, celui se trouve alors en équilibre séculaire avec le radionucléide parent constituant la source.

Par un dégazage soigné de la solution il est alors possible de récupérer le radon formé, soit:

- en une seule fois ou
- en continu.

Dans ce dernier cas, un calcul simple permet d'obtenir le débit de radon en fonction de l'activité de la source et du débit du gaz porteur.

La principale application de ce type de sources est l'étalonnage d'instruments de référence. Des dispositions doivent être prises afin d'éviter les risques de contamination.

Des capsules à perméation contenant du ^{226}Ra en solution avec un taux d'émanation certifié sont aussi utilisées pour l'étalonnage.

5.2.3.3 Sources gazeuses

Des ampoules contenant du radon sont aussi utilisées comme source gazeuse pour la génération de l'atmosphère d'un STAR. Les sources de radon étalonnées, dans une ampoule de verre ou un flacon en inox, peuvent être utilisées pour créer l'atmosphère de référence d'un STAR [3,4,14].

NOTE Lorsque l'on utilise ce type de source, il faut s'assurer du transfert complet du radon contenu dans l'ampoule.

Des sources gazeuses étalons de ^{222}Rn sont disponibles pour l'étalonnage.

5.2.4 Analyse et contrôle du ^{222}Rn et du ^{220}Rn

L'activité volumique de radon dans un STAR est choisie suivant le mode de fonctionnement. L'activité volumique de radon dans l'enceinte du STAR peut être:

- gardée à un niveau constant;
- modifiée afin d'atteindre plusieurs niveaux constants;
- autorisée à décroître suivant la période radioactive du radon après injection d'une quantité de radon dans l'enceinte;
- autorisée à croître jusqu'à ce qu'un plateau soit atteint.

Les moyens utilisés pour analyser la radioactivité dans le STAR sera choisi selon les tests à effectuer. La valeur conventionnellement vraie de l'activité volumique de radon d'une atmosphère de référence est traçable aux étalons nationaux ou internationaux.

Des systèmes de mesure complémentaires, si possible traçables aux étalons de références, seront ajoutés en fonction des essais à effectuer.

Si, par exemple, une grandeur d'influence significative comme le débit de dose gamma est à étudier, alors un instrument de mesure de ce type de rayonnement sera demandé.

Afin de comparer la valeur conventionnellement vraie de l'activité volumique de radon avec la valeur mesurée par l'instrument en essai, l'activité volumique de radon dans l'enceinte doit être homogène. Pour assurer l'homogénéité de l'atmosphère de référence, celle-ci doit être testée.

5.2.5 Analyse et contrôle des paramètres climatiques

Les principaux paramètres météorologiques, température, pression et humidité relative, doivent être mesurés.

Parce que la température, l'humidité relative et la pression atmosphérique sont des grandeurs d'influence pour la réponse des détecteurs et du système de prélèvement de l'appareil en essai, les valeurs de ces grandeurs doivent être prises en compte lors de la détermination de l'activité volumique du radon ou du thoron de l'atmosphère de référence.

Lorsqu'un STAR est utilisé pour déterminer l'influence des paramètres météorologiques, ces paramètres doivent être contrôlés.

5.3 STAR pour le radon et les RnDP

5.3.1 Généralités

Ce type de STAR inclus au moins toutes les exigences d'un STAR pour le radon décrites au 5.2 ainsi que les exigences spécifiques liées aux RnDP qui sont décrites ci-dessous.

5.3.2 Caractéristiques techniques des enceintes du STAR

Les caractéristiques techniques des enceintes du STAR sont définies en 5.2.2.

En plus de ces caractéristiques, il convient que les dimensions intérieures des enceintes de STAR représentent le meilleur compromis possible entre deux exigences contradictoires:

- être réduites au minimum afin de limiter les inhomogénéités de l'atmosphère préjudiciables à la qualité des mesures;
- être aussi grandes que possible afin de réduire au minimum les effets de paroi, et pour pouvoir recevoir un nombre élevé d'instruments à tester.

5.3.3 Les sources de RnDP

Les atmosphères de RnDP sont formées dans de l'air contenant du radon et des aérosols naturels ou artificiels. Les sources de RnDP sont donc le résultat d'un mélange d'une source de radon et d'une source d'aérosol. Après désintégration du radon, les RnDP nouvellement produits forment des agrégats (diamètre de particules de l'ordre du nm) dont une partie va s'attacher à l'aérosol ambiant. Ces deux parties sont appelées fraction libre (agrégats) et fraction attachée. Elles vont se déposer sur les surfaces internes de l'enceinte en fonction du diamètre des particules. Des gammes de valeurs de l'activité volumique de radon, concentration et taille de l'aérosol, activité volumique des RnDP ainsi que fraction libre des RnDP, trouvées dans des atmosphères réelles, sont données au Tableau A.1 (Annexe A).

Afin d'établir l'activité volumique des RnDP ou l'EAPv a une valeur déterminée, les sources de radon et d'aérosol doivent être stables pendant le déroulement des essais. Dans une certaine mesure, il est possible d'ajuster la concentration des RnDP et la valeur de la fraction libre dans le gaz porteur. De tels changements exigent une modification de l'aérosol d'origine

(nombre de noyaux de condensation, distribution granulométrique de l'aérosol) qui s'obtient en utilisant un générateur d'aérosols, un précipitateur électrostatique ou un filtre. En général, plus basse sera la concentration volumique en particules, plus il y aura de fraction libre, bien que d'autres facteurs, comme les conditions aérauliques, affectent aussi la fraction libre. Pour modifier les paramètres ci-dessus, générateurs d'aérosols, système de filtration, précipitateurs électrostatique, générateurs d'ions, etc. peuvent être utilisés.

Différents types de sources de radon ont été décrites précédemment. Quant aux sources d'aérosols, les générateurs pneumatiques d'aérosols commerciaux ou les générateurs de cire carnauba sont les plus souvent utilisés.

5.3.4 Analyse et contrôle des RnDP

Les appareils ou équipement ci-dessous, doivent être utilisés pour mesurer ou contrôler les valeurs caractéristiques (Tableau 1) des atmosphères produites dans un STAR:

- un appareil de mesure du radon en continu ou en semi-continu, ayant une sensibilité adaptée à la gamme de mesure à effectuer et équipé de son propre dispositif d'enregistrement;
- un appareil de mesure du nombre de particules par unité de volume;
- un appareil de mesure de la granulométrie de l'aérosol;
- un appareil de mesure de la fraction libre et attachée des RnDP (voir Note 1);
- un appareil de mesure des RnDP (voir Note 2).

NOTE 1 La fraction libre peut-être mesurée en utilisant une technique de diffusion à grille comme une simple grille ou une rangée de grilles calibrées [10].

NOTE 2 Un appareil de mesure des descendants du radon qui peut être composé d'un système de prélèvement sur filtre/grille associé à un compteur pour analyser la radioactivité du filtre/grille et d'une méthode de déconvolution.

Il convient que l'ensemble de ce matériel soit étalonné par rapport à un étalon de référence avant d'être utilisé pour la mesure de l'atmosphère du STAR.

Contrairement aux sources de radon, les sources étalons de RnDP n'existent pas. La valeur conventionnellement vraie de l'EAPv de l'atmosphère de référence est obtenue en utilisant un instrument de référence.

On doit porter une attention particulière au système d'échantillonnage des instruments de mesure des RnDP. Cette partie de l'instrument doit être conçue afin de minimiser le dépôt des aérosols sur les surfaces du système d'échantillonnage.

De plus, lorsqu'un prélèvement actif est utilisé, le débit de prélèvement ou le volume prélevé doit être mesuré précisément, quel que soit le type d'instrument utilisé, pour la mesure de l'activité volumique du radon ou l'EAPv. Parce que les résultats de mesure sont exprimés sous forme d'activité ou d'énergie alpha potentielle par unité de volume, le débit de prélèvement ou le volume d'air prélevé par un instrument de référence a besoin d'être étalonné avec un étalon approprié.

Les équipements du STAR doivent permettre de mesurer ou de générer des débits de prélèvement ou de volumes d'air prélevés par l'appareil en essai mais aussi par les instruments de mesure propres au STAR. La mesure des débits devra être complétée par une mesure de la température du gaz, de la pression et éventuellement par une mesure de la masse volumique du gaz porteur du radon (CO₂ par exemple pour certains appareils de mesure dans les sols). Le débit sera mesuré, soit par un débitmètre massique, soit par un débitmètre volumique, et exprimé en effectuant les corrections de pression et de volume nécessaires, à 1 013 hPa et 20 °C. L'étendue des débits à mesurer dépend des équipements à tester.

Il convient que les erreurs associées au débit ou volume échantillonné soient du même ordre de grandeur que les autres sources d'incertitudes.

5.3.5 Débit d'échantillonnage des instruments en essai

Les systèmes d'échantillonnages utilisés pour le fonctionnement réel du STAR auront généralement des débits de l'ordre du $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et il convient que leur erreur relative totale soit meilleure que le pourcent.

Le débit de prélèvement est une grandeur d'influence d'une très grande importance, en premier lieu à cause des incertitudes associées à la mesure, mais aussi à cause des pertes éventuelles associées au débit de prélèvement dans l'appareil de mesure (auto-absorption dans les filtres de prélèvement, perte d'aérosols dans le circuit aérodynamique de prélèvement).

Il faut donc que le STAR dispose d'un ensemble de débitmètres suffisamment précis pour évaluer les caractéristiques de prélèvement d'un instrument en essai. L'étalonnage des dispositifs de mesure de débit doit être réalisé dans une installation spécifique.

Les différents débits d'air à contrôler dépendent des utilisations pour lesquels les instruments en essai ont été conçus. Certains instruments individuels ou ceux qui n'ont besoin que d'une faible sensibilité (surveillance des atmosphères souterraines, instruments intégrateurs, etc.) auront des débits de prélèvement pouvant se situer dans une gamme allant d'environ $10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, alors que les instruments pour la surveillance de l'environnement présenteront une étendue beaucoup plus large pouvant aller de $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Les instruments en essai qui ont un fort débit d'échantillonnage peuvent changer de façon significative les conditions du STAR notamment en ce qui concerne la concentration d'aérosol, l'activité volumique et l'homogénéité.

5.3.6 Analyse et contrôle des paramètres d'ambiance

Les paramètres météorologiques tels que la température, la pression atmosphérique et l'humidité relative doivent être mesurés. Lorsqu'un STAR est utilisé pour déterminer l'influence des paramètres météorologiques, ces paramètres doivent être mesurés et contrôlés.

Ces paramètres doivent être mesurés pour évaluer l'homogénéité de l'atmosphère du STAR, par exemple en mesurant le débit ou le profil de vitesse dans les conditions de fonctionnement dynamique.

6 Exigences concernant l'atmosphère de référence produite par un STAR

6.1 Généralités

Il convient que le STAR soit choisi en fonction de l'instrument à tester.

Dans la limite des exigences du test, les conditions opératoires dans le STAR doivent être comprises dans des limites spécifiques qui dépendent de l'appareil utilisé pour piloter et analyser. Ceci doit assurer sa capacité à atteindre la précision requise.

La précision des valeurs indiquées par certain type d'appareils peut être influencée par différentes grandeurs d'influences, par exemple la température, la taille de l'aérosol, le dépôt d'aérosol sur les parois du STAR, le facteur d'équilibre, les propriétés aérodynamiques du système d'échantillonnage, etc.

Par conséquent, il convient que les essais effectués avec un STAR indiquent, après accord entre le producteur et l'utilisateur, les valeurs des grandeurs d'influences employées pour à la fois les conditions de référence et les conditions variables.

Les caractéristiques des atmosphères pouvant être simulées dans un STAR peuvent être trouvées en Annexe A.

6.2 Conditions de référence

Le Tableau 1 montre la série de paramètres utiles pour piloter l'atmosphère de référence pour effectuer les essais de type des instruments de mesure des descendants du radon. Lorsque le STAR est seulement utilisé les instruments du radon, la série de paramètres peut être raisonnablement réduite. Au minimum, les paramètres climatiques de température, humidité relative, pression atmosphérique et débit de dose gamma ambiant doivent être surveillés.

Tableau 1 – Conditions de référence et d'essai normalisées

Grandeur d'influence	Conditions de référence	Conditions d'essai normales
Température	20 °C	18 °C à 22°C
Humidité relative	50 %	40 % à 60 %
Pression atmosphérique	1 013 hPa	860 hPa à 1 060 hPa
Débit d'équivalent de dose γ ambiant		$<0,25 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$
Fraction libre		$<0,25$
Concentration en nombre des aérosols	$10^{10} \text{ particule} \cdot \text{m}^{-3}$	$10^8 \text{ particule} \cdot \text{m}^{-3}$ à $10^{12} \text{ particule} \cdot \text{m}^{-3}$
Dimensions des aérosols (AMTD ou AMAD)*	0,2 μm	0,1 μm à 0,3 μm
* Pas d'exigence sur l'écart type géométrique.		

Le débit d'échantillonnage nominal nécessaire pour l'essai d'un appareil particulier est défini par le fabricant de l'appareil.

Les protocoles d'essais des instruments sont décrits dans les normes CEI 61577-2 et CEI 61577-3.

Il convient que le STAR soit capable d'être utilisé pour les essais d'instruments à des activités volumiques de radon variant de 1/3 à 2/3 de chaque gamme de mesure indiquée sur l'instrument en essai. Une valeur située entre $100 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ et $1\,000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ pour l'activité volumique de ^{222}Rn et 0,4 pour le facteur d'équilibre peuvent être appliquée comme base pour les conditions d'essais normalisées, permettant d'obtenir un point opérationnel identique pour tous les appareils en essai. D'autres valeurs peuvent être choisies en accord entre le responsable du STAR et le fabricant de l'appareil.

6.3 Grandeurs d'influence

6.3.1 Généralités

Le Tableau 2 résume la gamme de variation des grandeurs d'influence.

Tableau 2 – Essais avec variation des grandeurs d'influence

Grandeurs d'influence	Gammes de valeurs (sauf indication contraire du fabricant)
Température	–25 °C à +50 °C
Humidité relative	10 % to 100 % (avec condensation)
Pression atmosphérique	800 hPa to 1 080 hPa
Débit d'équivalent de dose γ ambiant	à définir entre le fabricant et l'opérateur du STAR
Activité volumique ^{222}Rn (pour les instruments de mesure du ^{220}Rn)	10 Bq · m ⁻³ à 1 MBq · m ⁻³
Activité volumique ^{220}Rn (pour les instruments de mesure du ^{222}Rn)	10 Bq · m ⁻³ à 1 MBq · m ⁻³
C_{eq222} (pour les instruments de mesure de la C_{eq220})	2 Bq · m ⁻³ à 1 MBq · m ⁻³
C_{eq220} (pour les instruments de mesure de la C_{eq222})	0,05 Bq · m ⁻³ à 100 Bq · m ⁻³
Fraction libre des RnDP_{222}	jusqu'à 0,9
Concentration volumique en aérosols	10 ⁸ particule · m ⁻³ à 10 ¹² particule · m ⁻³
Dimensions des aérosols ^a (AMTD ou AMAD)	10 ⁻³ µm à 10 µm
^a Les essais avec variation de dimension des aérosols sont à effectuer après accord entre le fabricant, l'utilisateur et l'opérateur du STAR.	

6.3.2 Température

La température est une grandeur d'influence d'une grande importance. Elle affecte les instruments de mesure au niveau du système de détection, de l'électronique analogique associée et de l'affichage des résultats (affichage à cristaux liquides). Elle a un effet sur les caractéristiques aérodynamiques des préleveurs et sur la durée de vie des batteries primaires ou secondaires. Elle peut aussi influencer sur les paramètres qui déterminent le comportement des aérosols.

La température de référence sera +20 °C avec des tolérances qui permettent des variations de +18 °C à +22 °C.

Il convient que la gamme de température à utiliser pour les essais avec variation des grandeurs d'influence corresponde aux différentes atmosphères décrites en Annexe A:

- –25 °C à +50 °C pour les environnements atmosphériques extérieurs;
- +5 °C à +40 °C pour les environnements atmosphériques domestiques;
- 0 °C à +60 °C pour les environnements atmosphériques souterrains;
- –10 °C à +50 °C pour l'atmosphère des sols.

D'autres gammes de températures peuvent être utilisées après accord entre le fabricant et l'utilisateur.

6.3.3 Humidité relative

L'humidité de l'atmosphère d'essai est une grandeur d'influence d'une grande importance pour le fonctionnement des systèmes de détection. En particulier, la condensation sur un détecteur par exemple peut réduire ses performances et causer éventuellement une contamination. L'humidité a un effet aussi sur le comportement physique des aérosols et peut-être aussi sur le fonctionnement des préleveurs (colmatage de filtres hygroscopiques, systèmes de collection électrostatiques, etc.).

La valeur de référence sera de 50 % HR avec des tolérances qui permettent des variations de 40 % HR à 60 % HR.

Il convient que la gamme d'humidité relative à utiliser pour les essais avec variation des grandeurs d'influence corresponde aux différentes atmosphères décrites en Annexe A:

- 10 % HR à 100 % HR (condensation) pour les atmosphères externes;
- 10 % HR à 70 % HR pour les atmosphères domestiques;
- 10 % HR à 100 % HR (condensation) pour les atmosphères souterraines;
- 80 % HR à 100 % HR (condensation) pour l'atmosphère des sols.

D'autres gammes d'humidité relative peuvent être utilisées après accord entre le fabricant et l'utilisateur.

6.3.4 Pression atmosphérique

La pression atmosphérique est une grandeur d'influence d'une grande importance pour la mesure de la radioactivité dans certains cas:

- les instruments de mesure qui fonctionnent sous pression (par exemple la mesure du radon dans les forages);
- les détecteurs qui ont besoin d'un grand parcours pour les particules alpha dans l'air: dans ce cas, l'efficacité de la détection peut être modifiée par une variation de pression.

Il se peut que les caractéristiques des systèmes de prélèvement soient sensibles à des variations de pression; il faut donc que le dispositif de mesure des débits de prélèvement du STAR permette de quantifier cet effet.

La valeur de référence est 1 013 hPa.

Les variations de la pression atmosphérique (sauf dans le cas des instruments sous pression qu'il convient de contrôler jusqu'à leur pression de fonctionnement maximale) vont de 800 hPa à 1 080 hPa.

D'autres gammes de pression peuvent être utilisées après accord entre le fabricant et l'utilisateur.

6.3.5 Rayonnement gamma ambiant

Il convient que les conditions d'essai normalisées se poursuivent avec un débit d'équivalent de dose effectif inférieur à $0,25 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$.

Le rayonnement gamma ambiant peut avoir un effet très important sur la réponse des instruments de mesure. Par exemple, les instruments utilisant la détection des particules bêta ou les chambres d'ionisation sont aussi sensibles au rayonnement γ ambiant. Il convient que les essais de ce type d'instrument spécifient l'importance de cet effet dans les conditions d'essai.

6.3.6 Domaine de fonctionnement pour l'exposition aux RnDP

Le domaine de fonctionnement pour l'EAPv couvre normalement le domaine de fonctionnement pour vérifier l'exposition aux descendants du radon. Il convient de prendre une attention particulière pour les essais des instruments dans la partie supérieure de leur étendue de mesure, il convient de maintenir une grande stabilité de l'atmosphère pendant une période d'au moins une journée.

6.3.7 Domaine de fonctionnement pour les aérosols

Le domaine de fonctionnement pour les aérosols doit couvrir au minimum la gamme typique de dimensions et de concentrations des aérosols existant dans l'atmosphère pour la mesure de laquelle l'appareil en essai a été conçu. Dans des cas particuliers, cette gamme peut être étendue ou réduite après accord entre le fabricant et l'utilisateur.

La taille de référence de l'aérosol aura un AMAD de 0,2 μm et l'écart type de la distribution ainsi que la nature de l'aérosol dépendra du générateur d'aérosols employé.

La dimension de l'aérosol à utiliser pour les essais avec variation des grandeurs d'influence est comprise entre 10^{-3} μm et plusieurs dizaines de μm .

Il faut garder à l'esprit que la qualité du prélèvement des aérosols a une très grande influence sur le résultat des mesures (i.e. une entrée d'air mal conçue peut entraîner des pertes d'aérosols par dépôt).

6.3.8 Temps d'exposition pour les instruments en essai

Le temps est une grandeur d'une très grande importance pour tous les instruments qui utilisent l'intégration ou le prélèvement ponctuel. Pour les autres types d'instruments, le temps en tant que grandeur d'influence doit être pris en compte si la durée de l'analyse, que ce soit du bruit de fond ou du signal, est variable ou réglable (il peut entraîner, par ex. une modification du seuil de décision).

En outre, si l'instrument en essai a une constante de temps grande par rapport à la durée des fluctuations de la grandeur mesurée pendant le fonctionnement, le STAR doit permettre de simuler ces fluctuations de façon aussi proche de la réalité que possible.

7 Etalonnage et traçabilité des méthodes et instruments de mesure utilisés dans un STAR

7.1 Chaîne métrologique

Le STAR doit assurer que tous les résultats de mesures significatives soient traçables à un étalon primaire approprié utilisant les unités SI.

Les mesures suivantes sont directement traçables:

- température,
- humidité,
- pression atmosphérique,
- activité volumique de ^{222}Rn ,
- volume d'air échantillonné.

Les procédures de traçabilité des mesures ne sont pas établies pour toutes les grandeurs. Cela concerne, en particulier, les mesures de concentration en nombre et de granulométrie des particules. Il convient que le responsable du STAR mette en place des procédures pour valider ces mesures. La validation peut se faire via des intercomparaisons de laboratoires [6, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 16].

La traçabilité de l'activité volumique de radon, dans un STAR est établie en utilisant, soit un étalon primaire gazeux de radon, soit un ou plusieurs instruments de référence (étalon secondaire). L'activité volumique de radon gazeux est produite en injectant une activité connue de radon gazeux dans un volume de référence calibré. L'activité traçable de gaz radon peut être, soit fournie par des laboratoires primaires soit obtenue par extraction quantitative du gaz radon d'une solution étalon de ^{226}Ra (méthode par bullage). Le gaz radon

est introduit dans l'instrument en essai, soit en enfermant l'instrument dans le volume de référence, soit par transfert quantitatif du volume de référence dans l'instrument. L'activité volumique choisie pour le point d'étalonnage est calculée et comparée à l'indication du système à évaluer pour calculer le facteur de calibration et ainsi étalonner l'appareil. Le système peut alors être utilisé comme étalon secondaire ou instrument de référence.

L'EAPv₂₂₂ et les activités volumiques de RnDP₂₂₂ de l'atmosphère de référence peuvent être tracées par échantillonnage des RnDP₂₂₂ en utilisant un système de filtration, préférentiellement avec un système ouvert. Après échantillonnage, la désintégration du noyau sur le filtre est mesurée simultanément en spectrométrie alpha et gamma. L'équipement doit être capable de détecter les particules alpha émises par le ²¹⁸Po et le ²¹⁴Po et les gammas du ²¹⁴Pb et du ²¹⁴Bi. A partir du nombre de désintégrations du ²¹⁸Po et du ²¹⁴Po, l'activité des RnDP₂₂₂ et l'énergie alpha potentielle sont calculées. Les activités volumiques et l'EAPv sont obtenues après division par le volume d'air prélevé. Afin d'étalonner l'équipement, en prenant en compte la géométrie de mesure, une source surfacique scellée contenant du ²²⁶Ra en équilibre avec le ²²²Rn et les RnDP₂₂₂ peut être utilisée. La surface active de la source scellée et du filtre d'aérosol devrait, de préférence, avoir les mêmes dimensions. La source est utilisée pour étalonner les comptages alpha mesurés en terme de désintégration dans la totalité du filtre grâce à l'exploitation des relations entre les mesures gammas et les activités correspondants au ²¹⁴Bi. [5,8]

7.2 Assurance qualité

Le laboratoire où est situé le STAR doit entretenir un système d'assurance qualité pour les activités liées au STAR.

L'assurance qualité doit inclure la vérification du contrôle qualité qui implique toutes les actions par lesquelles l'adéquation de l'équipement, des instruments et des procédures est évaluée par rapport aux exigences préétablies. Il doit assurer que l'équipement et les instruments fonctionnent correctement, que les procédures sont correctement établies et suivies, que les analyses sont correctement exécutées, que les erreurs quantifiables sont dans des limites acceptables et que les enregistrements sont correctement et rapidement archivés. Le programme d'assurance qualité et les vérifications régulières effectuées pour le contrôle qualité doivent être complètement documentés.

Les exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'essai sont exposées dans l'ISO/IEC 17025.

Annexe A (informative)

Caractéristiques des atmosphères pouvant être simulées par un STAR

A.1 Généralités

Les instruments à soumettre aux essais dans le STAR sont destinés à être utilisés dans différents environnements atmosphériques, comme indiqué ci-dessous. Le STAR doit donc pouvoir simuler au moins quelques-unes des caractéristiques de ces environnements atmosphériques.

Le Tableau A.1 donne des informations concernant les valeurs typiques que l'on peut trouver dans ces atmosphères. Les domaines de fonctionnement des appareils à soumettre aux essais sont inclus dans ces valeurs typiques.

A.2 Environnement atmosphérique extérieur

Un environnement atmosphérique extérieur est caractérisé par une gamme d'activités volumiques du radon et par une distribution d'aérosols similaires à celle que l'on trouve naturellement au-dessus des continents.

A.3 Environnement atmosphérique intérieur

Un environnement atmosphérique intérieur est caractérisé par une gamme d'activités volumiques du radon et une distribution d'aérosols similaires à celle que l'on trouve dans un bâtiment. La distribution granulométrique des aérosols dépend en partie du style de vie des habitants (cuisine, fumée de tabac, ventilation, etc.) ou du niveau d'activité professionnelle.

A.4 Environnement atmosphérique souterrain

Un environnement atmosphérique souterrain est caractérisé principalement par la gamme d'activités volumiques du radon et par le temps de séjour de l'air. Il peut aussi être saturé d'humidité.

Dans le cas des mines, la distribution en tailles des particules et la charge électrique des aérosols dans une telle atmosphère sont très variables dans l'espace et dans le temps et peuvent être influencées par les gaz d'échappements, par les brouillards d'huiles, par la fumée des tirs, etc.

A.5 Environnement atmosphérique des sols

L'environnement atmosphérique d'un sol est principalement caractérisé par sa gamme d'activités volumiques du radon. Lui aussi est souvent saturé d'humidité.

La présente norme concerne aussi l'environnement atmosphérique des sols, parce que la quantité de radon présent dans le sol est d'une grande importance en ce qui concerne la radioprotection, celle-ci étant la source principale du radon dans les maisons et sur les lieux de travail intérieurs. Il faut donc le mesurer pour estimer la tendance naturelle d'un sol à produire du radon (ex. avant la construction d'une maison).

Dans certains cas, le gaz vecteur peut être un autre gaz que l'air, par exemple du CO₂.

Tableau A.1 – Domaine caractéristique des atmosphères (valeurs typiques)

	Domaine de fonctionnement			
	Atmosphère* extérieure	Atmosphère ** intérieure	Atmosphère souterraine	Atmosphère du sol
Activité volumique ²²² Rn	10 Bq · m ⁻³ à 50 kBq · m ⁻³	10 Bq · m ⁻³ à 100 kBq · m ⁻³	100 Bq · m ⁻³ à 1 MBq · m ⁻³	100 Bq · m ⁻³ à 1 MBq · m ⁻³
Activité volumique ²²⁰ Rn	10 Bq · m ⁻³ à 10 kBq · m ⁻³	10 Bq · m ⁻³ à 50 kBq · m ⁻³	100 Bq · m ⁻³ à 5 MBq · m ⁻³	100 Bq · m ⁻³ à 1 MBq · m ⁻³
Facteur d'équilibre F pour le ²²² Rn	0,2 à 0,6	0,2 à 0,8	0,1 à 0,8	N/A (non applicable)
Fraction libre des RnDP ₂₂₂	0,03 à 0,9	0,03 à 0,7	0,03 à 0,9	N/A
EAP _{v222}	11 nJ · m ⁻³ à 170 µJ · m ⁻³	11 µJ · m ⁻³ à 450 µJ · m ⁻³	56 nJ · m ⁻³ à 4,5 mJ · m ⁻³	N/A
EAP _{v220}	4 nJ · m ⁻³ à 152 nJ · m ⁻³	4 nJ · m ⁻³ à 6 µJ · m ⁻³	Pas de données	N/A
C _{eq222}	2 Bq · m ⁻³ à 30 kBq · m ⁻³	2 Bq · m ⁻³ à 80 kBq · m ⁻³	10 Bq · m ⁻³ à 0,8 MBq · m ⁻³	N/A
C _{eq220}	0,05 Bq · m ⁻³ à 2 Bq · m ⁻³	0,05 Bq · m ⁻³ à 76 Bq · m ⁻³	Pas de données	N/A
Concentration en aérosols	10 ⁶ particule · m ⁻³ à 10 ¹² particule · m ⁻³	10 ⁸ particule · m ⁻³ à 10 ¹⁴ particule · m ⁻³	10 ¹⁰ particule · m ⁻³ à 10 ¹⁴ particule · m ⁻³	N/A
Dimension de l'aérosol)	10 ⁻³ µm à 0,5µm	10 ⁻³ µm à 10µm	10 ⁻³ µm à 10µm	N/A
*A proximité de résidus de mines d'uranium, l'activité volumique du radon dans l'air peut monter jusqu'à 50 kBq · m⁻³. **Dans les zones de stockage de sources de radium, on peut trouver des activités volumiques en radon s'élevant jusqu'à 100 kBq · m⁻³. Remarque: Dans certains cas les activités volumiques peuvent couvrir plus de 6 ordres de grandeur.				

Bibliographie

- [1] P. K. Hopke, Health Physics, vol 64, n°5, p 459 (1993)
- [2] W. C. Hinds, Aerosol Technology, Properties, Behavior and measurement of airborne Particles (1999)
- [3] R. Dersch, U. Schötzg, Production and measurement of ^{222}Rn standards, Appl. Radiat. Isot., Vol. 49, p.1171-1174, (1998)
- [4] J. L. Picolo, D. Pressyanov, P. Blanchis, N. Michielsens, V. Voisin and K. Turek. A radon-222 metrological chain from primary standard to field detectors. International Conference on radionuclide metrological and its applications, ICRM'99, Prague. (1999).
- [5] A. Paul, S. Röttger, A.Honig, T.Sulima, A. Buchholz and U.Keyser, Measurement of short-lived radon progenies by $\alpha\gamma$ -spectrometry at the radon reference chamber. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Vol. A434, p.303-312, (1999)
- [6] Maringer et al. The Austrian radon intercomparison exercise 1992-1996. Proc. IRPA reg. Symp. Rad. Prot. In Neighbouring Countries of central Europe, Tech Univ. Prague, p 150-153 (1997)
- [7] G. Butterweck, Ch. Schuler, A. Paul, A. Honig, R. Dersch, V. Schmidt, P. Hamel, H. Buchenröder, A. Rox and W. Herzog. Intercomparison exercise of the PTB, BfS, MPA and PSI calibration facilities for radon gas concentration. Radiat. Prot. Dosim. 98(2):219-222 (2002)
- [8] R. Falk, N. Hagberg, L. Mjönes, H. Möre, L. Nyblom and G. A. Swedjemark. Standards, calibration and quality assurance of ^{222}Rn measurements in Sweden, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 339, Issues 1-2, 22 January 1994, Pages 254-263
- [9] A. Röttger, A. Honig, G. Butterweck, Ch. Schuler, V. Schmidt, H. Buchenröder, A. Rox, G.M. Kendall, J.C.H. Miles, I. Burian, N. Michielsens, V. Voisin, F.J. Maringer, A. Vargas, Intercomparison exercise of calibration facilities for radon gas activity concentration, VII International Symposium on Natural Radiation Environment (NRE VII), 20–24 May, Rhodes, Greece (2002)
- [10] Y. S. Cheng, J. A. Keating and G. M. Kanapilly, Theory and calibration of a screen-type diffusion battery. Journal of Aerosol Science, Vol.11, p.549-556 (1980)
- [11] Pineau, J.F., "Results of the 1st European Intercomparison of radon and radon daughters measurement methods and devices in an underground mine atmosphere" - CEC 1424/1/84, nov. 1985
- [12] Bertrand, C., Gibaud, C., Janot, M., Pineau, J.F., "Results of the 2nd European Intercomparison of radon and radon daughters measurement methods and devices in an underground mine atmosphere" - CEC B16/0340/F (1990)
- [13] Knutson, E. O. (editor). International intercalibration and intercomparison programme for radon, thoron and daughters measuring equipment:
 Part I. Radon measurement. Paris, OECD (1983)
 Part II. Radon measurement. Paris, OECD (1983)
 Part III. Radon measurement. Paris, OECD (1983)
- [14] E.Gargioni, A.Honig, A.Röttger, 'Development of a calibration facility for the measurement of the thoron activity concentration', Nuclear Instr. And Meth. In Phys. Research, A 506, 2003, 166-172

- [15] Röttger, A., Honig, A., Butterweck, G., Schuler, Ch., Schmidt, V., Buchröder, H., Rox, A., Kendall, G.M., Miles, J.C.H., Burian, I., Michielsen, N., Maringer, F.J., Vargas, A.. Comparison of calibration facilities for radon activity concentration: Euromet Project 657. Metrologia, 2005, 42, Tech. Suppl. 06003
 - [16] Tokonami, S., Ishimori, Y., Ishikawa, T., Yamazaki, K., Yamada, Y.. Intercomparison exercise of measurement techniques for radon, radon decay products and their particle size distributions at NIRS. Jpn. J. Health Phys., 40(2):193-190 (2005)
-

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