

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61578**

Première édition  
First edition  
1997-08

---

---

**Instrumentation pour la radioprotection –  
Etalonnage et contrôle de l'efficacité de  
la compensation radon des instruments  
de mesure des aérosols radioactifs émetteurs  
alpha et/ou bêta – Méthodes d'essais**

**Radiation protection instrumentation –  
Calibration and verification of the effectiveness  
of radon compensation for alpha and/or beta  
aerosol measuring instruments – Test methods**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 61578: 1997

## Numéros des publications

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

## Publications consolidées

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

## Validité de la présente publication

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

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

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**  
Accès en ligne\*
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)\*

## Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

## Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

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

## Numbering

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

## Consolidated publications

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

## Validity of this publication

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

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

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**  
On-line access\*
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates (On-line access)\*

## Terminology, graphical and letter symbols

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

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

## IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

\* See web site address on title page.

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC

61578

Première édition  
First edition  
1997-08

---

---

**Instrumentation pour la radioprotection –  
Etalonnage et contrôle de l'efficacité de  
la compensation radon des instruments  
de mesure des aérosols radioactifs émetteurs  
alpha et/ou bêta – Méthodes d'essais**

**Radiation protection instrumentation –  
Calibration and verification of the effectiveness  
of radon compensation for alpha and/or beta  
aerosol measuring instruments – Test methods**

© IEC 1997 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

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



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

V

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

## SOMMAIRE

|                                                                                                               | Pages |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                            | 4     |
| INTRODUCTION .....                                                                                            | 6     |
| Articles                                                                                                      |       |
| 1 Généralités .....                                                                                           | 8     |
| 1.1 Domaine d'application et objet .....                                                                      | 8     |
| 1.2 Définitions .....                                                                                         | 8     |
| 2 Caractéristiques .....                                                                                      | 10    |
| 2.1 Caractéristiques des aérosols radioactifs artificiels .....                                               | 10    |
| 2.2 Caractéristiques des aérosols radioactifs naturels .....                                                  | 12    |
| 3 Etalonnage des voies de mesure des aérosols radioactifs artificiels .....                                   | 14    |
| 3.1 Principe de mesure .....                                                                                  | 14    |
| 3.2 Mesure de la réponse et prescriptions .....                                                               | 30    |
| 4 Etalonnage de la voie de mesure des aérosols radioactifs naturels .....                                     | 36    |
| 4.1 Principe de mesure .....                                                                                  | 36    |
| 4.2 Mesure de la réponse et prescriptions .....                                                               | 40    |
| 5 Contrôle de l'efficacité de la compensation radon .....                                                     | 44    |
| 5.1 Principe de mesure .....                                                                                  | 44    |
| 5.2 Mesure du coefficient d'influence et prescriptions .....                                                  | 52    |
| 6 Mesure de la réponse du moniteur relative à un mélange d'aérosols radioactifs naturels et artificiels ..... | 58    |
| 6.1 Principe de mesure .....                                                                                  | 58    |
| 6.2 Mesure des réponses et prescriptions .....                                                                | 58    |
| Annexe A – Bibliographie .....                                                                                | 62    |

## CONTENTS

|                                                                                                                         | Page |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| FOREWORD .....                                                                                                          | 5    |
| INTRODUCTION .....                                                                                                      | 7    |
| Clause                                                                                                                  |      |
| 1 General .....                                                                                                         | 9    |
| 1.1 Scope and object .....                                                                                              | 9    |
| 1.2 Definitions .....                                                                                                   | 9    |
| 2 Characteristics .....                                                                                                 | 11   |
| 2.1 Radioactive artificial aerosols .....                                                                               | 11   |
| 2.2 Natural radon aerosols .....                                                                                        | 13   |
| 3 Calibration of the measuring channels of radioactive artificial aerosols .....                                        | 15   |
| 3.1 Measurement principle .....                                                                                         | 15   |
| 3.2 Measurement of the response and requirements .....                                                                  | 31   |
| 4 Calibration of the measuring channel of radioactive natural aerosols .....                                            | 37   |
| 4.1 Measurement principle .....                                                                                         | 37   |
| 4.2 Measurement of the response and requirements .....                                                                  | 40   |
| 5 Verification of the effectiveness of radon compensation .....                                                         | 45   |
| 5.1 Measurement principle .....                                                                                         | 45   |
| 5.2 Measurement of the influence coefficient and requirements .....                                                     | 53   |
| 6 Measurement of the response of the monitor relative to a mixture of natural and artificial radioactive aerosols ..... | 59   |
| 6.1 Measurement principle .....                                                                                         | 59   |
| 6.2 Measurement of the response and requirements .....                                                                  | 59   |
| Annex A – Bibliography .....                                                                                            | 63   |

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – ÉTALONNAGE ET CONTRÔLE DE L'EFFICACITÉ DE LA COMPENSATION RADON DES INSTRUMENTS DE MESURE DES AÉROSOLS RADIOACTIFS ÉMETTEURS ALPHA ET/OU BÊTA – MÉTHODES D'ESSAIS

### AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61578 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 la présente norme est issu des documents suivants:

| FDIS         | Rapport de vote |
|--------------|-----------------|
| 45B/191/FDIS | 45B/214/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.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION –  
CALIBRATION AND VERIFICATION OF THE EFFECTIVENESS  
OF RADON COMPENSATION FOR ALPHA AND/OR BETA  
AEROSOL MEASURING INSTRUMENTS –  
TEST METHODS**

## FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61578 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/191/FDIS | 45B/214/RVD      |

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

Annex A is for information only.

## INTRODUCTION

Généralement, les instruments de mesure des aérosols radioactifs sont conçus pour aspirer de l'air dans l'atmosphère et collecter les aérosols qu'il contient sur un média filtrant. Le détecteur placé en face du filtre compte les particules alpha et/ou bêta émises par les aérosols collectés. Parmi ces aérosols on peut distinguer:

- ceux qui sont produits par les installations nucléaires et qui sont l'objet de la mesure; ils sont appelés aérosols radioactifs artificiels;
- ceux qui sont dus aux produits de filiation du radon et qui sont produits naturellement.

Les instruments qui mesurent les aérosols radioactifs artificiels minimisent l'influence des aérosols radioactifs naturels, soit par un procédé physique, soit par un système de traitement du signal.

Ils donnent une lecture de la concentration en activité des radionucléides artificiels et rejettent autant qu'ils est possible l'influence des radionucléides naturels.

Dans beaucoup de cas, ils réalisent aussi une mesure de la concentration en activité des aérosols radioactifs naturels.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61578:1997

## INTRODUCTION

Generally, instruments which measure radioactive aerosols are designed to pump air into the atmosphere and to trap the aerosols on a retaining medium. The detector facing the retaining medium counts alpha and/or beta particles emitted by the collected aerosols. Among collected aerosols, one needs to distinguish:

- those which are produced in nuclear facilities and which are the subject of the measurement; they are referred to as radioactive artificial aerosols;
- those which are due to radon daughters and which are produced naturally.

Instruments which measure radioactive artificial aerosols minimize the influence of natural radioactive aerosols, either physically or by using a signal treatment system.

They provide a reading of the activity concentration of the artificial aerosol and reject as much as possible the influence of natural aerosols.

In many instances, they also carry out a reading of the activity concentration of natural aerosols.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61578:1997

# INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – ÉTALONNAGE ET CONTRÔLE DE L'EFFICACITÉ DE LA COMPENSATION RADON DES INSTRUMENTS DE MESURE DES AÉROSOLS RADIOACTIFS ÉMETTEURS ALPHA ET/OU BÊTA – MÉTHODES D'ESSAIS

## 1 Généralités

### 1.1 *Domaine d'application et objet*

La présente Norme internationale est applicable aux méthodes d'essais de type qui permettent d'effectuer l'étalonnage ainsi que la mesure de l'efficacité de la compensation des descendants du radon des moniteurs d'aérosols radioactifs. Cette norme définit les caractéristiques des aérosols utilisés pour les essais ainsi que les procédures suivantes:

- méthode d'essai permettant la mesure de la réponse du moniteur relative à des aérosols calibrés émetteurs alpha et/ou bêta;
- méthode d'essai permettant la mesure de la réponse du moniteur relative à des aérosols calibrés de descendants du radon;
- méthode d'essai permettant la mesure de l'efficacité de la compensation radon;
- méthode d'essai permettant la mesure de la réponse du moniteur relative à un mélange d'aérosols constitués par des descendants du radon et par des émetteurs radioactifs alpha et/ou bêta.

De plus, elle spécifie les prescriptions pour l'homologation des instruments.

### 1.2 *Définitions*

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent:

#### 1.2.1 *Ecart-type géométrique*

Si l'on suppose une loi de densité de probabilité «NORMALE» en fonction du logarithme du diamètre des particules, l'écart-type géométrique est égal au rapport, soit du diamètre médian sur le diamètre correspondant à 16 % de la distribution granulométrique cumulative, soit du diamètre correspondant à 84 % de la même distribution sur le diamètre médian. Cela signifie que 68 % des particules d'aérosols ont leurs diamètres compris dans l'intervalle égal à  $\pm 1$  écart-type géométrique.

#### 1.2.2 *Facteur d'équilibre de l'aérosol de descendants du radon*

Le facteur d'équilibre est égal au quotient de l'énergie alpha potentielle réelle des descendants à vie courte du radon sur celle qui existerait si les descendants étaient en équilibre radioactif avec le radon. Dans le cas où les descendants sont en équilibre, le facteur d'équilibre est égal à 1, sinon il est inférieur à 1.

# **RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – CALIBRATION AND VERIFICATION OF THE EFFECTIVENESS OF RADON COMPENSATION FOR ALPHA AND/OR BETA AEROSOL MEASURING INSTRUMENTS – TEST METHODS**

## **1 General**

### **1.1 Scope and object**

This International Standard is applicable to type test methods which permit calibration and measurement of the effectiveness of radon daughters' compensation of radioactive aerosol monitors. This standard defines aerosol characteristics used in these tests and applies the following procedures:

- test method permitting the measurement of the response of the monitor relative to alpha and/or beta defined radioactive aerosols;
- test method permitting the measurement of the response of the monitor relative to radon daughter-defined aerosols;
- test method permitting the measurement of the effectiveness of radon compensation;
- test method permitting the measurement of the response of the monitor relative to a mixture of aerosols constituted by radon daughters and by alpha and/or beta radioactive emitters.

In addition, it specifies the requirements for acceptance.

### **1.2 Definitions**

For the purpose of this International Standard, the following definitions apply.

#### **1.2.1 Geometric standard deviation**

Assuming a "NORMAL" probability density function for the logarithm of the particulate diameters, the geometric standard deviation is equal to the quotient of either the median diameter to the diameter corresponding to 16 % of the cumulative size distribution, or the diameter corresponding to 84 % of the same size distribution to the median diameter. This means that 68 % of the aerosol particulates have diameters within an interval equal to  $\pm 1$  geometric standard deviation.

#### **1.2.2 Equilibrium factor of a radon daughters aerosol**

The equilibrium factor is equal to the quotient of the actual potential alpha energy of short-lived radon daughters to that which would exist if radon daughters were in equilibrium with radon. Where radon daughters are in equilibrium, the equilibrium factor is equal to 1, otherwise it is lower than 1.

## 2 Caractéristiques

### 2.1 Caractéristiques des aérosols radioactifs artificiels

Dans le cycle du combustible nucléaire, les travailleurs sont exposés aux aérosols radioactifs. Les aérosols sont constitués de particules de dimension variable, généralement comprise entre 0,1  $\mu\text{m}$  et 10  $\mu\text{m}$  [1]\*. En cas d'accident, on observe également dans l'environnement des particules de taille correspondant à cette plage granulométrique [2]. La pénétration de ces particules dans le système respiratoire dépend de leur diamètre aérodynamique qui correspond à un diamètre équivalent de particules ayant une densité unité ( $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), et considérées comme sphériques. Les diamètres aérodynamiques des particules produites par un générateur d'aérosols destiné à l'étalonnage des moniteurs d'aérosols radioactifs artificiels doivent donc être choisis en fonction de leur pouvoir de pénétration différent dans le système respiratoire. Selon le média filtrant, la tête de prélèvement et le circuit aéraulique de ces moniteurs, leur réponse peut dépendre de la granulométrie des particules. La conception de l'appareil doit éviter autant que possible cette dépendance.

Les aérosols radioactifs produits par les générateurs peuvent être caractérisés par les paramètres suivants:

- la granulométrie, c'est-à-dire la distribution du diamètre aérodynamique des particules. Pour définir ce paramètre on utilise le Diamètre Aérodynamique Médian en Activité (DAMA) et l'écart-type géométrique;
- le type de radioactivité, c'est-à-dire le rayonnement émis par les particules. Le générateur peut produire des aérosols de référence porteurs de radionucléides émetteurs alpha ( $^{239}\text{Pu}$ ) et bêta-gamma ( $^{137}\text{Cs}$ );
- l'activité volumique, c'est-à-dire l'activité de l'aérosol par unité de volume d'air;
- la concentration, c'est-à-dire le nombre de particules par unité de volume d'air ( $\text{m}^{-3}$ ), ou la masse des particules par unité de volume d'air ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Dans les installations nucléaires ventilées et filtrées, la concentration est de l'ordre de 30  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , tandis qu'elle peut atteindre quelques centaines de  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  dans un environnement urbain empoussiéré. La réponse des moniteurs pour une granulométrie donnée (particulièrement ceux mesurant les alpha) pouvant être affectée par la masse collectée sur le filtre, la concentration doit être contrôlée et connue avec précision.

La méthode d'essais pour l'étalonnage des instruments, décrite dans cette norme, recommande des valeurs pour les paramètres mentionnés ci-dessus qui peuvent être obtenues par des générateurs du type de ceux utilisés sur le ban d'essais ICARE\*\* installé à Saclay [3].

Pour cette méthode d'essais les aérosols, produits par des générateurs adaptés, présentent les caractéristiques suivantes:

- la granulométrie correspond à des diamètres de 0,4  $\mu\text{m}$  et 4  $\mu\text{m}$ , exprimés en DAMA, avec un écart-type géométrique de 1,3 à 1,5. Cependant, la granulométrie peut être choisie dans les gammes de 0,15  $\mu\text{m}$  à 0,4  $\mu\text{m}$  et de 1,5  $\mu\text{m}$  à 4  $\mu\text{m}$ . Puisque le rapport des diamètres a été choisi égal à 10, la masse des particules et le paramètre d'inertie varient respectivement de  $10^3$  à  $10^2$ . En effet, le nombre de Stokes définissant l'inertie d'une particule est proportionnel au carré de son diamètre. Ceci entraîne une grande variation des propriétés de rétention des particules, et rend ces valeurs de diamètre recommandées propres à montrer une variation de la réponse de l'instrument;

\* Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie donnée dans l'annexe A.

\*\* ICARE: Installation de Calibration à l'aide d'Aérosols Radioactifs Etalons.

## 2 Characteristics

### 2.1 Radioactive artificial aerosols

In the nuclear fuel cycle, workers are exposed to radioactive aerosols. These aerosols are constituted of particulates of various sizes, generally between 0,1  $\mu\text{m}$  and 10  $\mu\text{m}$  [1]\*. In the case of an accident, this size range can also be observed in the environment [2]. The penetration of radioactive particulates into the respiratory system depends on their aerodynamic diameter, which corresponds to an equivalent diameter of particulates considered as spherical and of unit density ( $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ). The particulate aerodynamic diameters produced by an aerosol generator for calibration of radioactive artificial aerosol monitors shall then be chosen as a function of their different levels of penetration in the lung system. Depending on the retaining medium, sampling head and tubing used in those monitors, their response is also affected by the particulate sizes, the design of the equipment shall be such as to avoid, as much as possible, this effect.

Radioactive aerosols produced by generators may be characterized by the following parameters:

- a) granulometry, i.e. the distribution of the particulate aerodynamic diameters. The activity median aerodynamic diameter (AMAD) and the geometric standard deviation may be used more conveniently to define this parameter;
- b) type of radioactivity, i.e. the radiation emitted by the particulates. The generator may produce aerosols emitting alpha ( $^{239}\text{Pu}$ ) and beta-gamma ( $^{137}\text{Cs}$ ) as reference radiations;
- c) volume activity, i.e. the activity of the aerosol per unit air volume;
- d) concentration, i.e. either the number of airborne particulates per unit air volume ( $\text{m}^{-3}$ ), or the mass of airborne particulates per unit air volume ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). In ventilated and filtrated nuclear facilities, the concentration is of the order of 30 whereas it can reach some hundreds of  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  in a dusty urban environment. As the response of these monitors (especially alpha monitors) for the same particulate size is affected by the mass collected on the retaining medium, the concentration shall be controlled and known with accuracy.

The test method for calibrating instruments described in this standard recommends values for the above-mentioned parameters using an aerosol generator, for example ICARE\*\* [3] implemented in Saclay.

For this test method, aerosols are produced by suitable generators and are characterized by the following parameters:

- the granulometry is given in terms of AMAD and is equal to 0,4  $\mu\text{m}$  and 4  $\mu\text{m}$  with a geometrical standard deviation of 1,3 to 1,5. Nevertheless, the granulometry could be chosen in the ranges from 0,15  $\mu\text{m}$  to 0,4  $\mu\text{m}$  and from 1,5  $\mu\text{m}$  to 4  $\mu\text{m}$ . Since the diameters are chosen so that their ratio is equal to 10, then the particulate mass and inertia parameter vary by a factor of  $10^3$  and  $10^2$ , respectively. Effectively, the Stokes number defining a particulate inertia is proportional to the square of its diameter. This fact leads to a large variation in particulate retention properties and makes the recommended diameter values appropriate for showing variation in the instrument response;

---

\* Figures in square brackets refer to the bibliography given in annex A.

\*\* ICARE: Installation de Calibration à l'aide d'Aérosols Radioactifs Etalons.

- la concentration massique étant liée à la granulométrie, elle est de l'ordre de  $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  à quelques centaines de  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  pour des particules de  $0,4 \mu\text{m}$  et de l'ordre de  $1 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  pour des particules de  $4 \mu\text{m}$ ;
- les émetteurs utilisés pour produire des aérosols radioactifs sont du  $^{239}\text{Pu}$  et du  $^{137}\text{Cs}$ , ou autres radionucléides;
- l'activité volumique varie de  $8\cdot 10^{-2}$  à  $12 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  pour le  $^{239}\text{Pu}$  et de  $1 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  à  $10^5 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  pour le  $^{137}\text{Cs}$ . On détermine cette quantité en échantillonnant les aérosols sur un filtre de référence et en mesurant le volume d'air l'ayant traversé, ainsi que l'activité déposée durant l'essai. Pour des aérosols de  $^{239}\text{Pu}$  la mesure d'activité est faite par spectrométrie alpha, et pour les aérosols de  $^{137}\text{Cs}$  par spectrométrie gamma; pour des radionucléides n'émettant que des particules bêta, un comptage bêta total est recommandé.

## 2.2 Caractéristiques des aérosols radioactifs naturels

Le gaz radon et ses produits de filiation solides existent en tout lieu et à une concentration variable, que ce soit dans l'environnement, ou les habitations, ou les installations nucléaires. Pour un lieu donné, cette concentration varie aussi avec les conditions atmosphériques. Parmi les descendants du  $^{222}\text{Rn}$  ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  et  $^{210}\text{Po}$ ) seuls ceux à vie courte ont le temps d'être produits:  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  et  $^{214}\text{Po}$ .

Dans les lieux de travail, tels que les mines, où le risque (radiologique) principal est dû au radon et à ses descendants, leurs concentrations sont mesurées par des instruments différents qui ne sont pas l'objet de cette norme.

Une fraction des atomes des descendants solides s'attache aux poussières inactives présentes en concentration variable, et l'autre fraction reste libre. Ces aérosols radioactifs naturels sont caractérisés par les paramètres suivants:

- a) la granulométrie, c'est-à-dire la distribution en taille de la fraction attachée; pour définir plus facilement ce paramètre on utilise le DAMA et l'écart-type géométrique;
- b) les activités volumiques du radon et de chacun de ses descendants, ainsi que leur facteur d'équilibre;
- c) la concentration des aérosols porteurs, c'est-à-dire le nombre de particules ou leur masse par unité de volume d'air;
- d) la fraction libre, c'est-à-dire la fraction des atomes des descendants du radon par unité de volume d'air qui ne sont pas attachés aux poussières inactives;
- e) la fraction attachée, c'est-à-dire la fraction d'atomes des descendants du radon par unité de volume d'air qui sont attachés aux poussières initialement inactives.

L'aérosol ainsi caractérisé peut présenter différents aspects. Deux situations extrêmes peuvent être exposées:

- 1) Atmosphère calme, conditions météorologiques stables pendant plusieurs heures
  - dans ce cas, le radon et ses descendants gardent un facteur d'équilibre constant et relativement élevé. L'activité volumique de chacun des descendants approche celle du radon. Elle varie généralement de quelques  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  à  $10^3 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
  - le DAMA est compris entre  $0,1 \mu\text{m}$  et  $0,5 \mu\text{m}$  [4], [5];
  - la concentration massique des aérosols porteurs peut atteindre quelques centaines de  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
  - les fractions libre et attachée sont variables et dépendent de la concentration numérique ou massique de l'aérosol porteur et de sa granulométrie.

- as the mass concentration is related to granulometry, it is of the order of  $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  to some hundreds of  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  for  $0,4 \mu\text{m}$  particulates and for  $4 \mu\text{m}$  particulates it is of the order of  $1 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- the type of emitters used for producing radioactive aerosols are  $^{239}\text{Pu}$ , and  $^{137}\text{Cs}$  or other radionuclides;
- the volume activity varies from  $8\cdot 10^{-2} \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  to  $12 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  for  $^{239}\text{Pu}$  and from  $1 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  to  $10^5 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  for  $^{137}\text{Cs}$ . This quantity is determined by sampling the aerosols through a reference filter and by measuring the air volume traversing it and the activity deposited on it during the test. For  $^{239}\text{Pu}$  aerosols the activity measurement is done by alpha spectrometry, for  $^{137}\text{Cs}$  aerosols it is done by gamma spectrometry and for radionuclides emitting only beta particles, gross beta counting is recommended.

## 2.2 Natural radon aerosols

Radon gas and radon solid daughters naturally exist everywhere, in variable concentrations, in the environment, in homes and in nuclear installations. For a given place, concentration varies also with atmospheric conditions. Among radioactive daughters of  $^{222}\text{Rn}$  ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Tl}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  and  $^{210}\text{Po}$ ) only the short-lived ones have time to be produced:  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  and  $^{214}\text{Po}$ .

In work places, such as mines, where the main risk is due to radon and its daughters, concentrations are measured using various instruments which are not the subject of this standard.

A fraction of the atoms of radon solid daughters are attached to inactive particulates present in various concentrations, and the other fraction of atoms stays free. These natural radioactive aerosols are then characterized by the following parameters:

- a) the granulometry, i.e. the particulate diameter distribution of the attached fraction. The AMAD and the geometric standard deviation may be used more conveniently to define this parameter;
- b) the volume activities of radon and of each of its daughters as well as their equilibrium factor;
- c) the concentration of the carrier aerosols, i.e. either the number of particulates per unit air volume or the mass of particulates per unit air volume;
- d) the free fraction, i.e. the fraction of atoms of radon daughters per unit air volume which are not attached to inactive particulates;
- e) the attached fraction, i.e. the fraction of atoms of radon daughters per unit air volume which are attached to particulates initially inactive.

An aerosol characterized in this manner may have different aspects. Two extreme cases may be described:

### 1) Calm atmosphere, stable meteorological conditions during several hours

- in this case, the radon keeps a constant, relatively high equilibrium factor with its daughters. The volume activity of each of its daughters comes close to that of radon. Generally it varies from a few  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  to  $10^3 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- the AMAD is between  $0,1 \mu\text{m}$  and  $0,5 \mu\text{m}$  [4], [5];
- the mass concentration of the carrier aerosol can reach values of some hundreds of  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- the free fraction and the attached fraction are variable and depend on number or mass concentration of the carrier aerosol and on its granulometry.

## 2) Atmosphère ventilée et filtrée d'une installation

Dans ce cas, il est aussi possible de donner des valeurs aux paramètres caractérisant l'aérosol naturel:

- le DAMA est généralement plus faible que pour l'environnement, et dépend du type de travail réalisé dans l'installation. Il est de l'ordre de  $0,1 \mu\text{m}$ ;
- généralement, la concentration de l'aérosol porteur est de l'ordre de  $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- l'activité volumique du radon varie de quelques  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  à  $10^3 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  comme dans l'atmosphère entourant l'installation;
- compte tenu du taux de renouvellement des installations nucléaires, qui est généralement voisin de  $4 \text{h}^{-1}$  à  $6 \text{h}^{-1}$ , et de la filtration, les descendants n'ont pas le temps de se mettre en équilibre. Leurs activités volumiques n'atteignent donc pas celle du radon. L'activité volumique des quatre descendants à vie courte varie de quelque  $10^{-1} \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  à  $10^2 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Cette variation dépend des conditions météorologiques à l'extérieur de l'installation et du taux de renouvellement de cette installation;
- les fractions libre et attachée sont gouvernées par la concentration numérique ou massique, et par la distribution granulométrique de l'aérosol porteur.

En conséquence, comme il serait très coûteux de spécifier différentes conditions, la procédure d'essai définie dans cette norme recommande des valeurs pour les paramètres mentionnés ci-dessus. Ces valeurs qui peuvent être obtenues avec des générateurs d'aérosols adaptés représentent un compromis raisonnable entre les situations présentées ci-dessus.

- le DAMA est égal à  $0,2 \mu\text{m}$ , qui est compris entre  $0,1 \mu\text{m}$  et  $0,5 \mu\text{m}$ . L'écart-type géométrique est de l'ordre de 2;
- la concentration numérique de l'aérosol porteur est variable de  $10^8$  à  $10^{10}$  particules par  $\text{m}^3$ ;
- le pourcentage de la fraction attachée, fixé par les conditions de concentration numérique et de granulométrie, varie de quelques unités à environ 100. Les valeurs choisies sont environ 80 % pour l'étalonnage des moniteurs mesurant habituellement une atmosphère empuisée et 50 % pour l'étalonnage des moniteurs mesurant une atmosphère ventilée et filtrée (cellules chaudes par exemple);
- le facteur d'équilibre est conventionnellement fixé à environ 0,4 afin d'être représentatif d'une condition moyenne de l'environnement, et à environ 0,15 pour reproduire une condition moyenne de l'atmosphère filtrée et ventilée;
- l'activité volumique totale des descendants à vie courte du radon est choisie proche de  $40 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  pour les deux types de moniteurs.

Les méthodes d'essais décrites dans cette norme pour déterminer l'efficacité de la compensation du radon et de ses descendants et étalonner la voie de mesure de la radioactivité naturelle utiliseront comme source de référence cet aérosol radioactif naturel ainsi défini.

## 3 Etalonnage des voies de mesure des aérosols radioactifs artificiels

L'objet de cette méthode d'essais est de déterminer la réponse (facteur de calibration) et le rendement des voies de mesure de l'activité artificielle de l'instrument pour des aérosols radioactifs artificiels.

### 3.1 Principe de mesure

Les instruments qui mesurent les aérosols radioactifs artificiels dans l'atmosphère indiquent:

- soit l'activité totale sur le filtre (média filtrant) des aérosols radioactifs artificiels;
- soit l'activité volumique ou la concentration des aérosols radioactifs artificiels.

## 2) Ventilated and filtered atmosphere in an installation

In this case, it is also possible to give values for the parameters characterizing the natural aerosol:

- the AMAD is generally lower than for the unfiltered and will depend on the kind of work undertaken in the installation. It is of the order of  $0,1 \mu\text{m}$ ;
- generally the mass concentration of the carrier aerosol is of the order of  $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- the radon volume activity varies from a few  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  to  $10^3 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ , as in the atmosphere surrounding the installation;
- taking into account the air renewal rate in nuclear facilities which is generally in the order of  $4 \text{h}^{-1}$  to  $6 \text{h}^{-1}$  and the filtration, the daughters do not have time to be in equilibrium. Their volume activities are not therefore close to that of the radon. The volume activity of the radon first four daughters is variable from a few  $10^{-1} \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  to  $10^2 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . This variation depends on meteorological conditions outside the facility and on the air renewal rate in the facility;
- the free fraction and the attached fraction are governed by the mass or numerical concentration and particulate size distribution of the carrier aerosol.

Therefore, as there is a major diseconomy in specifying different conditions, the test procedure defined in this standard recommends values for the above-mentioned parameters. These values can be obtained using suitable aerosol generators and represent a reasonable compromise when examining the above-mentioned cases:

- the AMAD is equal to  $0,2 \mu\text{m}$  which is between  $0,1 \mu\text{m}$  and  $0,5 \mu\text{m}$ . The geometric standard deviation is of the order of 2;
- the number concentration for the carrier aerosol is variable from  $10^8$  to  $10^{10}$  particulates per  $\text{m}^3$ ;
- the percentage of the attached fraction, fixed by the conditions of number concentration and granulometry, is variable from a few units to around 100 units. The chosen values are about 80 % for calibration of monitors measuring normally dusty atmosphere and 50 % for calibration of monitors measuring ventilated and filtered atmosphere (hot cells for example);
- the equilibrium factor is conventionally fixed near 0,4 to be representative of a mean condition of environmental atmosphere, and conventionally near 0,15 to reproduce filtered and ventilated mean conditions;
- the total volume activity of the short-lived radon daughters is chosen close to  $40 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  for both types of monitors mentioned above.

The test methods described in this standard for determining the effectiveness of radon and radon daughters' compensation and for calibrating the natural measuring channel will use as a reference source this defined natural aerosol.

## 3 Calibration of the measuring channels of radioactive artificial aerosols

The object of this test method is to determine the response (calibration factor) and the efficiency of the instrument's artificial activity measuring channels of artificial radioactive aerosols.

### 3.1 Measurement principle

Instruments measuring artificial radioactive aerosols in the atmosphere carry out the reading:

- either in terms of the total activity on the filter (retaining medium) of artificial radioactive aerosols;
- or in terms of the volume activity or concentration of the artificial radioactive aerosols.

### 3.1.1 Instruments mesurant l'activité artificielle collectée sur un média filtrant

Ces instruments donnent une indication de l'activité artificielle collectée par un média filtrant durant l'aspiration des aérosols dans l'atmosphère. L'indication est donnée en coups par seconde ( $s^{-1}$ ), en Becquerel (Bq) ou en limite dérivée de la concentration dans l'air multipliée par le temps ( $Bq \cdot m^{-3} \cdot h$  ou  $LDC \cdot h$ ).

#### Détermination du rendement de ce type d'instrument

Supposons que la lecture de cet instrument soit exprimée en coups par seconde ( $s^{-1}$ ).

Le rendement de l'instrument  $(R_A)_Z$  pour un radionucléide, Z, sous la forme d'aérosol retenu sur un média filtrant peut être donné par la relation suivante:

$$(R_A)_Z = \frac{n_Z(t)}{A_V \cdot q \cdot t} \quad (1)$$

où

$n_Z(t)$  est le nombre net de coups par unité de temps, c'est-à-dire le taux de comptage net ( $s^{-1}$ ) dû à un radionucléide, Z, injecté sous la forme d'un aérosol et retenu sur le média filtrant;

$A_V$  est l'activité volumique injectée et maintenue constante durant l'essai ( $Bq \cdot m^{-3}$ );

$q$  est le débit de l'instrument ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );

$t$  est le temps de prélèvement (s).

Afin de réduire l'incertitude dans les mesures de rendement, il est nécessaire de mesurer le nombre net de coups dans un intervalle de temps défini par le temps initial ( $t = 0$ ) du début de l'injection et par le temps final ( $t_f$ ). Le nombre de coups  $N(t_f)$  est donné par l'expression:

$$N(t_f) = \int_0^{t_f} n_Z(t) dt = \int_0^{t_f} A_V \cdot q \cdot t \cdot (R_A)_Z \cdot dt \quad (2)$$

Dû à:

- la pénétration de l'aérosol dans le média filtrant, le rendement  $(R_A)_Z$ , ne peut pas être considéré constant au début de l'injection. Pour un média filtrant donné, le rendement devient constant après une période de temps  $t_i$  dépendant de la granulométrie, de la concentration et du type de rayonnement émis par l'aérosol retenu;
- au fait que l'activité volumique,  $A_V$ , et le débit de prélèvement peuvent être maintenus constants en fonction du temps.

Il est possible de réécrire l'équation (2) avec  $(R_A)_Z$ ,  $q$  et  $A_V$  constants après un temps initial  $t_i$ :

$$N(t_f) - N(t_i) = A_V \cdot q \cdot (R_A)_Z \int_{t_i}^{t_f} t \cdot dt$$

$$N = N(t_f) - N(t_i) = \frac{A_V \cdot q \cdot (R_A)_Z \cdot (t_f^2 - t_i^2)}{2}$$

où  $N = N(t_f) - N(t_i)$  est le comptage net enregistré dans l'intervalle de temps  $(t_f - t_i)$ .

### 3.1.1 Instruments measuring artificial activity collected on a retaining medium

These instruments carry out a reading of the artificial activity collected by a retaining medium when pumping aerosols into the atmosphere. The reading is given in counts per seconds ( $s^{-1}$ ), in Becquerel (Bq) or in derived air concentration multiplied by hours ( $Bq \cdot m^{-3} \cdot h$  or  $DAC \cdot h$ ).

#### Determination of such instrument efficiency

Suppose that the reading of such an instrument is expressed in counts per second ( $s^{-1}$ ).

The instrument efficiency  $(R_A)_Z$  for a radionuclide, Z, in the form of an aerosol trapped on the retaining medium can be given by the following relationship:

$$(R_A)_Z = \frac{n_Z(t)}{A_V \cdot q \cdot t} \quad (1)$$

where

$n_Z(t)$  is the net number of counts per unit time i.e. net count rate ( $s^{-1}$ ) due to a radionuclide, Z, injected in the form of an aerosol and trapped on the retaining medium;

$A_V$  is the volume activity injected and maintained constant during the test ( $Bq \cdot m^{-3}$ );

$q$  is the flow rate of the instrument ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );

$t$  is the sampling time (s).

In order to decrease the uncertainty in the efficiency measurements, it is necessary to measure the number of net counts in a time interval defined by the initial time ( $t = 0$ ) at the beginning of injection and by the final time ( $t_f$ ). The number of counts  $N(t_f)$  is given by the expression:

$$N(t_f) = \int_0^{t_f} n_Z(t) dt = \int_0^{t_f} A_V \cdot q \cdot t \cdot (R_A)_Z \cdot dt \quad (2)$$

Due to:

- aerosol penetration into the retaining medium, the efficiency  $(R_A)_Z$ , cannot be considered as constant at the beginning of injection. For a given retaining medium, the efficiency becomes constant after a period of time  $t_i$  depending on the granulometry, on the concentration and on the type of radiation emitted by the trapped aerosol;
- the fact that the volume activity,  $A_V$ , and the sampling flow rate can be maintained constant as a function of time.

It is possible to rewrite equation (2) with  $(R_A)_Z$ ,  $q$  and  $A_V$  constants after an initial time  $t_i$ :

$$N(t_f) - N(t_i) = A_V \cdot q \cdot (R_A)_Z \int_{t_i}^{t_f} t \cdot dt$$

$$N = N(t_f) - N(t_i) = \frac{A_V \cdot q \cdot (R_A)_Z \cdot (t_f^2 - t_i^2)}{2}$$

where  $N = N(t_f) - N(t_i)$  is the net count registered in the time interval  $(t_f - t_i)$ .

Le rendement de l'instrument est alors égal à:

$$(R_A)_Z = \frac{2 \cdot N}{q \cdot A_V \cdot (t_f^2 - t_i^2)} \quad (3)$$

*Calcul de l'incertitude sur le rendement de l'instrument*

Si l'on suppose indépendantes les variables donnant le rendement de l'instrument, alors la variance de la mesure de  $(R_A)_Z$  peut être calculée, par exemple, à partir de la relation suivante [6].

$$\begin{aligned} \left( \sigma_{(R_A)_Z} \right)^2 &= \left( \frac{\delta R_A}{\delta N} \right)^2 \sigma_N^2 + \left( \frac{\delta R_A}{\delta q} \right)^2 \sigma_q^2 + \left( \frac{\delta R_A}{\delta A_V} \right)^2 \sigma_{A_V}^2 + \left( \frac{\delta R_A}{\delta t_f} \right)^2 \sigma_{t_f}^2 + \left( \frac{\delta R_A}{\delta t_i} \right)^2 \sigma_{t_i}^2 \\ \text{d'où} \quad \left( \frac{\sigma_{(R_A)_Z}}{(R_A)_Z} \right)^2 &= \left( \frac{\sigma_N}{N} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{A_V}}{A_V} \right)^2 + \frac{4 t_f^2}{(t_f^2 - t_i^2)^2} \sigma_{t_f}^2 + \frac{4 t_i^2}{(t_f^2 - t_i^2)^2} \sigma_{t_i}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Le comptage net,  $N$ , est obtenu en faisant la différence entre le comptage brut,  $N_b$ , et le bruit de fond,  $B$ , pendant le même intervalle de temps ( $\Delta t = t_f - t_i$ ) soit:

$$N = N_b - B' \frac{\Delta t}{\Delta t'} \quad \text{ou} \quad N = (N + B) - B' \frac{\Delta t}{\Delta t'}$$

où  $B'$  est le bruit de fond de l'instrument enregistré durant l'intervalle de temps  $\Delta t' > \Delta t$ , afin de réduire sa variance relative.

La variance de  $N$  est alors:

$$\sigma_N^2 = N + B + B' \left( \frac{\Delta t}{\Delta t'} \right)^2$$

Les variances globales de  $q$ ,  $A_V$ ,  $t_f$  et  $t_i$  peuvent être déterminées en additionnant les variances de ces incertitudes qui sont obtenues par des méthodes statistiques (type A) à celles obtenues par d'autres méthodes (type B) [7], [8].

Si seules les limites des incertitudes de type B peuvent être estimées et en supposant une distribution de probabilité constante de ces incertitudes entre les limites (symétriques), alors les variances correspondant aux incertitudes de type B sont obtenues en divisant le carré des limites respectives par 3 [7].

Si l'on ne peut pas supposer une distribution constante de probabilité des incertitudes de type B, les variances correspondant aux incertitudes de type B sont obtenues en divisant le carré des limites respectives par 9 [7].

Les limites de confiance de  $(R_A)_Z$  pour un niveau de confiance de 95 % sont alors obtenues en multipliant l'écart-type relatif

$$\frac{\sigma_{(R_A)_Z}}{(R_A)_Z}$$

de l'équation (4) par un facteur égal à 2.

The instrument efficiency would then be:

$$(R_A)_Z = \frac{2 \cdot N}{q \cdot A_V \cdot (t_f^2 - t_i^2)} \quad (3)$$

*Calculation of the uncertainty of the instrument efficiency*

If the variables giving the instrument efficiency are assumed to be independent, then the variance of the measurement  $(R_A)_Z$  would be, for example, calculated using the following relationship [6].

$$\begin{aligned} \left( \sigma_{(R_A)_Z} \right)^2 &= \left( \frac{\delta R_A}{\delta N} \right)^2 \sigma_N^2 + \left( \frac{\delta R_A}{\delta q} \right)^2 \sigma_q^2 + \left( \frac{\delta R_A}{\delta A_V} \right)^2 \sigma_{A_V}^2 + \left( \frac{\delta R_A}{\delta t_f} \right)^2 \sigma_{t_f}^2 + \left( \frac{\delta R_A}{\delta t_i} \right)^2 \sigma_{t_i}^2 \\ \text{i.e.} \quad \left( \frac{\sigma_{(R_A)_Z}}{(R_A)_Z} \right)^2 &= \left( \frac{\sigma_N}{N} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{A_V}}{A_V} \right)^2 + \frac{4 t_f^2}{(t_f^2 - t_i^2)^2} \sigma_{t_f}^2 + \frac{4 t_i^2}{(t_f^2 - t_i^2)^2} \sigma_{t_i}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

The net count,  $N$ , is obtained by making the difference between the gross count,  $N_b$ , and the background count,  $B$ , during the same time intervals ( $\Delta t = t_f - t_i$ ), i.e.:

$$N = N_b - B' \frac{\Delta t}{\Delta t'} \quad \text{or} \quad N = (N + B) - B' \frac{\Delta t}{\Delta t'}$$

where  $B'$  is the instrument background registered during the time interval  $\Delta t' > \Delta t$ , in order to decrease its relative variance.

The variance of  $N$  is then:

$$\sigma_N^2 = N + B + B' \left( \frac{\Delta t}{\Delta t'} \right)^2$$

The overall variances of  $q$ ,  $A_V$ ,  $t_f$  and  $t_i$  may be determined by adding the variances of those uncertainties which are obtained by statistical methods (type A) to those obtained by other methods (type B) [7], [8].

If only the limits of the type B uncertainties can be estimated and assuming a constant probability distribution of these uncertainties between the (symmetric) limits, the corresponding variances of type B uncertainties are obtained by dividing the square of the respective limits by 3 [7].

If a constant probability distribution of type B uncertainties cannot be assumed, the corresponding variances of type B uncertainties are obtained by dividing the square of the respective limits by 9 [7].

The confidence limits of  $(R_A)_Z$  for a confidence level of 95 % are then obtained by multiplying the relative standard deviation

$$\frac{\sigma_{(R_A)_Z}}{(R_A)_Z}$$

of equation (4) by a factor of 2.

L'équation (4) démontre clairement que l'incertitude sur  $(R_A)_Z$  sera aussi petite que possible si:

- l'activité volumique injectée,  $A_V$ , est aussi élevée que possible ainsi que le comptage enregistré,  $N$ , durant le même intervalle de temps  $(t_f - t_i)$ ;
- l'activité volumique,  $A_V$ , et le débit de l'instrument sont maintenus constante durant un intervalle de temps,  $(t_f - t_i)$ , aussi long que possible;
- le volume d'air qui traverse le filtre de référence (voir 2.1) est aussi élevé que possible puisque l'activité volumique,  $A_V$ , est définie par la relation:

$$A_V = \frac{A_r}{V}$$

et

$$\left( \frac{\sigma_{A_V}}{A_V} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{A_r}}{A_r} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_V}{V} \right)^2 \quad (5)$$

où

$A_r$  est l'activité mesurée du filtre de référence;

$V$  est le volume d'air ayant traversé ce filtre pendant le temps de prélèvement;

$\sigma_{A_r}$  est l'écart-type de  $A_r$ ;

$\sigma_V$  est l'écart-type de  $V$ .

### 3.1.2 Instruments mesurant l'activité volumique des aérosols radioactifs artificiels

Ces instruments sont conçus pour donner une indication de la concentration des aérosols radioactifs artificiels. L'indication est généralement élaborée par un algorithme qui a les fonctions suivantes:

- acquisition et traitement du taux de comptage délivré par le détecteur faisant face au média filtrant;
- dérivation en fonction du temps du taux de comptage détecté  $n_Z(t)$  de l'équation (1), en supposant que l'activité volumique,  $A_V$ , est constante pendant l'intervalle de temps,  $dt$ , de l'acquisition et du traitement du taux de comptage des impulsions:

$$\dot{n}_Z = \frac{dn_Z(t)}{dt} = A_V \cdot q \cdot (R_A)_Z \quad (6)$$

où  $\dot{n}_Z$  est le taux de variation du taux de comptage.

En fait,  $(R_A)_Z$  doit être également constant en fonction du temps et cette condition est atteinte après un temps  $t_i$  qui dépend des paramètres mentionnés ci-dessus (voir 3.1.1).

L'expression (6) montre que  $\dot{n}_Z$  est proportionnel à l'activité volumique de l'air à proximité de l'entrée de l'instrument.

L'activité volumique indiquée,  $(L_V)_Z$  est déterminée par l'expression:

$$(L_V)_Z = \frac{\dot{n}_Z}{K_Z} \quad (7)$$

avec

$$K_Z = q \cdot (R_L)_Z \quad (8)$$

Equation (4) clearly demonstrates that the uncertainty on  $(R_A)_Z$  would be as small as possible, if:

- the injected volume activity,  $A_V$ , is as high as possible and so is the count registered,  $N$ , during the same time interval  $(t_f - t_i)$ ;
- the volume activity,  $A_V$ , and the instrument flow rate are maintained constant during a time interval,  $(t_f - t_i)$ , for as long as possible;
- the air volume which goes through the reference filter (see 2.1) is as high as possible since the volume activity,  $A_V$ , is measured by the relationship:

$$A_V = \frac{A_r}{V}$$

and

$$\left( \frac{\sigma_{A_V}}{A_V} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{A_r}}{A_r} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_V}{V} \right)^2 \quad (5)$$

where

- $A_r$  is the measured activity deposited on the reference filter;
- $V$  is the air volume passing through this filter during the sampling time;
- $\sigma_{A_r}$  is the standard deviation of  $A_r$ ;
- $\sigma_V$  is the standard deviation of  $V$ .

### 3.1.2 Instruments measuring volume activity of radioactive artificial aerosols

These instruments are designed to give a reading of the concentration of radioactive artificial aerosols. The reading is generally carried out by an algorithm which has the following functions:

- acquisition and treatment of the count rate delivered by the detector facing the retaining medium;
- derivation with respect of time of the detected count rate  $n_Z(t)$  in expression (1), assuming that the air volume activity,  $A_V$ , is constant during the time interval,  $dt$ , of the acquisition and treatment of the pulse count rate:

$$\dot{n}_Z = \frac{dn_Z(t)}{dt} = A_V \cdot q \cdot (R_A)_Z \quad (6)$$

where  $\dot{n}_Z$  is the rate of change of the count rate.

In fact,  $(R_A)_Z$  also has to be constant with respect to time and this condition is reached after a time  $t_i$  depending on parameters mentioned above (see 3.1.1).

Expression (6) shows that  $\dot{n}_Z$  is proportional to air volume activity around the instrument nozzle.

The indicated volume activity,  $(L_V)_Z$  is determined by the expression:

$$(L_V)_Z = \frac{\dot{n}_Z}{K_Z} \quad (7)$$

with

$$K_Z = q \cdot (R_L)_Z \quad (8)$$

$K_Z$  est le coefficient qui convertit la dérivée première en fonction du temps du taux de comptage  $\dot{n}_Z$ , exprimé en coups par seconde au carré ( $s^{-2}$ ), dans l'activité volumique de l'air indiquée,  $(L_V)_Z$ , exprimée en  $Bq \cdot m^{-3}$ . Ce coefficient de conversion est égal au produit du débit de prélèvement,  $q$  ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ), par le rendement de détection,  $(R_L)_Z$ , relatif à l'activité du radionucléide,  $Z$ , déposé sur le média filtrant; il est exprimé en  $s^{-1}/Bq$  et installé dans l'algorithme de l'instrument.

*Détermination de la réponse et du rendement de l'instrument relatifs aux aérosols radioactifs artificiels*

Supposons que:

- $A_V$  soit l'activité volumique dans l'air d'un radionucléide,  $Z$  injecté dans l'instrument et mesuré par prélèvement sur un filtre de référence;
- $(L_V)_Z$  soit l'activité volumique dans l'air du radionucléide  $Z$  indiquée par l'instrument en essai soumis à la quantité  $A_V$ ;
- $A_V$  et  $(L_V)_Z$  soient exprimés dans la même unité, c'est-à-dire  $Bq \cdot m^{-3}$ ;

alors la réponse de l'instrument pour le radionucléide,  $Z$ , est définie par la relation:

$$\mathcal{R}_Z = \frac{(L_V)_Z}{A_V} \quad (9)$$

Si l'on substitue à  $(L_V)_Z$  et  $A_V$  leurs expressions (6), (7), (8), la réponse de l'instrument  $\mathcal{R}_Z$  peut être assimilée à:

$$\mathcal{R}_Z = \frac{(R_A)_Z}{(R_L)_Z} \quad (10)$$

ou

$$(R_A)_Z = \mathcal{R}_Z \cdot (R_L)_Z \quad (11)$$

Connaissant  $(R_L)_Z$  installé dans l'algorithme de l'instrument et  $\mathcal{R}_Z$  mesuré par l'équation (9), il est possible d'en déduire  $(R_A)_Z$ , relatif au radionucléide,  $Z$ , prélevé sous forme d'aérosol et déposé sur le média filtrant, par l'équation (11).

*Calcul des incertitudes sur la réponse et le rendement de l'instrument*

Si l'on considère indépendantes les variables de l'équation (9), la variance relative de  $\mathcal{R}_Z$  mesuré peut s'écrire:

$$\left( \frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{(L_V)_Z}}{(L_V)_Z} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{A_V}}{A_V} \right)^2 \quad (12)$$

Comme déjà mentionné dans l'équation (5):

$$\left( \frac{\sigma_{A_V}}{A_V} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{A_r}}{A_r} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_V}{V} \right)^2$$

$K_Z$  is the coefficient which converts the first derivative with respect to time of the count rate  $\dot{n}_Z$ , expressed in counts per square second ( $s^{-2}$ ), in indicated air volume activity,  $(L_V)_Z$ , expressed in  $Bq \cdot m^{-3}$ . This conversion coefficient is equal to the product of the pumping flow rate,  $q$  ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ), by the detection efficiency,  $(R_L)_Z$ , relative to the activity of the radionuclide,  $Z$ , deposited on the retaining medium expressed in  $s^{-1}/Bq$  and implemented in the instrument algorithm.

*Determination of the instrument response and of the instrument efficiency relative to artificial radioactive aerosols*

Suppose that:

- $A_V$  is the air volume activity of a radionuclide,  $Z$ , injected into the instrument and measured by sampling through a reference filter;
- $(L_V)_Z$  is the indicated air volume activity of the radionuclide,  $Z$ , by the instrument under test subjected to the quantity  $A_V$ ;
- $A_V$  and  $(L_V)_Z$  are expressed in the same unit, i.e.  $Bq \cdot m^{-3}$ ;

then, the response of the instrument for radionuclide,  $Z$ , is defined by the relationship:

$$\mathcal{R}_Z = \frac{(L_V)_Z}{A_V} \quad (9)$$

If  $(L_V)_Z$  and  $A_V$  are substituted by their expressions (6), (7), (8), the response of the instrument  $\mathcal{R}_Z$  can be equated:

$$\mathcal{R}_Z = \frac{(R_A)_Z}{(R_L)_Z} \quad (10)$$

or

$$(R_A)_Z = \mathcal{R}_Z \cdot (R_L)_Z \quad (11)$$

Knowing  $(R_L)_Z$  implemented in the instrument algorithm and  $\mathcal{R}_Z$  measured by equation (9), it is possible to deduce  $(R_A)_Z$ , relative to the radionuclide,  $Z$ , sampled in a form of aerosol and deposited on the retaining medium by equation (11).

*Calculation of the uncertainties on the instrument response and efficiency*

If the variables in equation (9) are considered as independent, the relative variance of the measured  $\mathcal{R}_Z$  can be written:

$$\left( \frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{(L_V)_Z}}{(L_V)_Z} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{A_V}}{A_V} \right)^2 \quad (12)$$

As already mentioned in equation (5):

$$\left( \frac{\sigma_{A_V}}{A_V} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{A_r}}{A_r} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_V}{V} \right)^2$$

En utilisant les équations (7) et (8), la variance relative de l'indication de l'instrument  $(L_V)_Z$  peut s'écrire:

$$\left( \frac{\sigma_{(L_V)_Z}}{(L_V)_Z} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{\dot{n}_Z}}{\dot{n}_Z} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{(R_L)_Z}}{(R_L)_Z} \right)^2 \quad (13)$$

Comme  $(R_L)_Z$  est fixé dans l'algorithme de l'instrument, son écart-type de type A (statistique) est égal à zéro. Son écart-type de type B (systématique) peut être calculé par l'expression:

$$\sigma_{s,(R_L)_Z} = \frac{(R_A)_Z - (R_L)_Z}{3} \quad (14)$$

L'incertitude de type B sur  $(R_L)_Z$ , que l'on doit prendre égale à  $3\sigma_s$ ,  $(R_L)_Z$  peut être considérée comme une erreur systématique dont la direction et l'amplitude doivent être déterminées en fonction de  $(R_A)_Z$ . Si  $(R_A)_Z$  est mesuré,  $(R_L)_Z$  peut être remplacé par  $(R_A)_Z$  dans l'algorithme.

De plus, si dans l'équation (13) seules sont considérées les variances de type A pour  $\dot{n}_Z$  et  $(R_L)_Z$ , (13) devient alors:

$$\left( \frac{\sigma_{(L_V)_Z}}{(L_V)_Z} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{\dot{n}_Z}}{\dot{n}_Z} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 \quad (15)$$

Pour calculer  $\frac{\sigma_{\dot{n}_Z}}{\dot{n}_Z}$ , il est nécessaire de connaître le principe de fonctionnement de l'algorithme.

Les différents principes utilisés peuvent être réduits aux deux cas suivants:

1) **L'algorithme calcule la dérivée première,  $\dot{n}_Z$ , en intégrant le taux de comptage net détecté,  $n_Z(t)$ , dans un registre par cycles d'intervalle de temps  $\theta$ .** Généralement, à la fin de chaque cycle l'algorithme utilise des tests pour vérifier que la pente,  $\dot{n}_Z$ , est constante. Ceci peut être réalisé en comparant la pente du cycle  $i$  à celle du cycle  $(i-1)$ . En supposant que l'activité volumique injectée,  $A_V$ , est constante durant un intervalle de temps suffisant  $T = i\theta$ , une combinaison des équations (2) et (6) donne:

$$N(T) = \dot{n}_Z \int_0^T t \, dt = \dot{n}_Z \frac{T^2}{2}$$

D'où 
$$\dot{n}_Z = \frac{2 N(T)}{T^2} \quad (16)$$

La variance de  $\dot{n}_Z$  peut alors s'écrire:

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{4}{T^4} (\sigma_{N(T)})^2 \quad (17)$$

Using equations (7) and (8), the relative variance of the instrument reading  $(L_V)_Z$  can be written

$$\left( \frac{\sigma_{(L_V)_Z}}{(L_V)_Z} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{\dot{n}_Z}}{\dot{n}_Z} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{(R_L)_Z}}{(R_L)_Z} \right)^2 \quad (13)$$

As  $(R_L)_Z$  is fixed in the algorithm of the instrument, its standard deviation of type A (random) is equal to zero. Its standard deviation of type B (systematic) can be calculated by the expression:

$$\sigma_{s,(R_L)_Z} = \frac{(R_A)_Z - (R_L)_Z}{3} \quad (14)$$

The type B uncertainty on  $(R_L)_Z$ , which is taken equal to  $3\sigma_{s,(R_L)_Z}$ ,  $(R_L)_Z$  can be considered as a systematic error whose direction and amplitude are to be determined with respect to  $(R_A)_Z$ . If  $(R_A)_Z$  is measured,  $(R_L)_Z$  can be replaced by  $(R_A)_Z$  in the algorithm.

Furthermore, if in equation (13) only type A variances are considered for  $\dot{n}_Z$  and  $(R_L)_Z$ , then (13) becomes:

$$\left( \frac{\sigma_{(L_V)_Z}}{(L_V)_Z} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{\dot{n}_Z}}{\dot{n}_Z} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 \quad (15)$$

In order to calculate  $\frac{\sigma_{\dot{n}_Z}}{\dot{n}_Z}$ , it is necessary to know the operating principle of the algorithm.

Different operating principles used may be reduced to the following two cases:

1) **The algorithm calculates the first derivative,  $\dot{n}_Z$ , by integrating the detected net count rate,  $n_Z(t)$ , in a register by cycles of time interval  $\theta$ .** Generally, at the end of each cycle the algorithm will use tests in order to verify that the slope,  $\dot{n}_Z$ , is constant. This can be done by comparing the slope of the  $i^{\text{th}}$  cycle to that of the  $(i-1)^{\text{th}}$  cycle. Suppose that the injected volume activity,  $A_V$ , is constant during a sufficient time interval  $T = i\theta$ , then combining equations (2) and (6) gives:

$$N(T) = \dot{n}_Z \int_0^T t \, dt = \dot{n}_Z \frac{T^2}{2}$$

Then

$$\dot{n}_Z = \frac{2 N(T)}{T^2} \quad (16)$$

The variance of  $\dot{n}_Z$  can then be written:

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{4}{T^4} \left( \sigma_{N(T)} \right)^2 \quad (17)$$

Puisque  $N(T)$  est un comptage net, et comme nous l'avons déjà mentionné, sa variance est égale à:

$$\left(\sigma_{N(T)}\right)^2 = N(T) + 2B = N(T) + 2bT \quad (18)$$

où

$B$  est le comptage du bruit de fond enregistré pendant la période  $T$

$b$  est le taux de comptage du bruit de fond.

En combinant les équations (16), (17) et (18), on obtient:

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{2(4b + T \dot{n}_Z)}{T^3} \quad (19)$$

Si l'activité volumique,  $A_V$ , est suffisamment élevée pour que  $4b$  soit négligeable en comparaison de  $T\dot{n}_Z$ , alors:

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{2\dot{n}_Z}{T^2} \quad (20)$$

En remplaçant  $\dot{n}_Z$  par son expression (7),  $\sigma_{\dot{n}_Z}^2$  devient:

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{2(L_V)_Z \cdot q \cdot (R_L)_Z}{T^2} \quad (21)$$

et

$$\left(\frac{\sigma_{\dot{n}_Z}}{\dot{n}_Z}\right)^2 = \frac{2}{(L_V)_Z \cdot q \cdot (R_L)_Z \cdot T^2} \quad (22)$$

L'équation (15) devient:

$$\left(\frac{\sigma_{(L_V)_Z}}{(L_V)_Z}\right)^2 = \frac{2}{(L_V)_Z \cdot q \cdot (R_L)_Z \cdot T^2} + \left(\frac{\sigma_q}{q}\right)^2 \quad (23)$$

La combinaison des équations (5), (12) et (23) permet de réécrire la variance relative de la réponse de l'instrument  $\mathcal{R}_Z$ :

$$\left(\frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z}\right)^2 = \frac{2}{(L_V)_Z \cdot q \cdot (R_L)_Z \cdot T^2} + \left(\frac{\sigma_q}{q}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{A_r}}{A_r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_V}{V}\right)^2 \quad (24a)$$

Si  $4b$  n'est pas négligeable comparé à  $T\dot{n}_Z$ , l'équation (24a) devient (24b):

$$\left(\frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z}\right)^2 = \frac{2[4b + T \cdot q \cdot (R_L)_Z \cdot (L_V)_Z]}{T^3 \cdot q^2 \cdot (R_L)_Z^2 \cdot (L_V)_Z^2} + \left(\frac{\sigma_q}{q}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{A_r}}{A_r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_V}{V}\right)^2 \quad (24b)$$

As  $N(T)$  is a net count, its variance as already mentioned is equal to:

$$\left(\sigma_{N(T)}\right)^2 = N(T) + 2B = N(T) + 2bT \quad (18)$$

where

$B$  is the background count registered during the period  $T$

$b$  is the background count rate.

Combining equations (16), (17) and (18), gives:

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{2(4b + T \dot{n}_Z)}{T^3} \quad (19)$$

If the volume activity,  $A_V$ , is sufficiently high so as that  $4b$  is negligible compared to  $T\dot{n}_Z$ , then:

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{2\dot{n}_Z}{T^2} \quad (20)$$

Replacing  $\dot{n}_Z$  by its expression (7),  $\sigma_{\dot{n}_Z}^2$  becomes:

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{2(L_V)_Z \cdot q \cdot (R_L)_Z}{T^2} \quad (21)$$

and

$$\left(\frac{\sigma_{\dot{n}_Z}}{\dot{n}_Z}\right)^2 = \frac{2}{(L_V)_Z \cdot q \cdot (R_L)_Z \cdot T^2} \quad (22)$$

Equation (15) becomes:

$$\left(\frac{\sigma_{(L_V)_Z}}{(L_V)_Z}\right)^2 = \frac{2}{(L_V)_Z \cdot q \cdot (R_L)_Z \cdot T^2} + \left(\frac{\sigma_q}{q}\right)^2 \quad (23)$$

Combining equations (5), (12) and (23) allows the relative variance of the instrument response  $\mathcal{R}_Z$  to be rewritten:

$$\left(\frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z}\right)^2 = \frac{2}{(L_V)_Z \cdot q \cdot (R_L)_Z \cdot T^2} + \left(\frac{\sigma_q}{q}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{A_r}}{A_r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_V}{V}\right)^2 \quad (24a)$$

If  $4b$  is not negligible compared to  $T\dot{n}_Z$ , equation (24a) becomes (24b):

$$\left(\frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z}\right)^2 = \frac{2[4b + T \cdot q \cdot (R_L)_Z \cdot (L_V)_Z]}{T^3 \cdot q^2 \cdot (R_L)_Z^2 \cdot (L_V)_Z^2} + \left(\frac{\sigma_q}{q}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{A_r}}{A_r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_V}{V}\right)^2 \quad (24b)$$

L'incertitude relative sur  $\mathcal{R}_Z$  est calculée en multipliant par 2 l'écart-type relatif  $\frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z}$ .

L'incertitude relative sur le rendement de l'instrument,  $(R_A)_Z$ , est:

$$\frac{\varepsilon_{(R_A)_Z}}{(R_A)_Z} = 2 \frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z} \quad (25)$$

L'erreur systématique relative (type B) sur le rendement de l'instrument installé dans l'algorithme peut être exprimée par:

$$\frac{\varepsilon_{s,(R_L)_Z}}{(R_L)_Z} = \frac{(R_A)_Z - (R_L)_Z}{(R_L)_Z} \quad (26)$$

Comme indiqué ci-dessus  $(R_L)_Z$  peut être remplacé par  $(R_A)_Z$  dans l'algorithme puisque la direction et l'amplitude de l'erreur systématique sur  $(R_L)_Z$  sont connues lorsque  $(R_A)_Z$  est déterminé.

L'équation (24) démontre que pour ce type d'essai, de manière que les incertitudes sur  $\mathcal{R}_Z$  et sur  $(R_A)_Z$  puissent être maintenues aussi faibles que possible, il est nécessaire que:

- l'activité volumique injectée,  $A_V$ , et donc l'indication de l'instrument,  $(L_V)_Z$ , soient aussi élevées que possible;
- l'activité volumique injectée,  $A_V$ , et donc l'indication de l'instrument,  $(L_V)_Z$ , soient maintenues constantes durant l'intervalle de temps  $T$ ;
- le volume d'air traversant le filtre de référence soit aussi élevé que possible.

2) **L'algorithme détermine  $\dot{n}_Z$ , en réalisant une régression linéaire du taux de comptage détecté,  $n_Z(t)$ , et en calculant sa dérivée première.** Dans ce cas, la variance de  $\dot{n}_Z$  peut être exprimée par les équations suivantes\*

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{6(2b + \dot{n}_Z T)}{T^3} \quad (27a)$$

ou

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{6(4b + \dot{n}_Z T)}{T^3} \quad (27b)$$

L'équation (27a) est applicable aux instruments qui ne soustraient pas le taux de comptage du bruit de fond,  $b$ , du taux de comptage mesuré, et l'équation (27b) est applicable à ceux qui font la soustraction.

Dans ces expressions,  $T$  est l'intervalle de temps compris entre un temps initial,  $t_i$ , qui doit être pris au moment où l'indication de l'instrument  $(L_V)_Z$  est stable et un temps final,  $t_f$ , qui doit être pris aussi tard que possible avec  $(L_V)_Z$  restant stable. De cette façon,  $\sigma_{\dot{n}_Z}^2$  décroît et, de plus,  $4b$  devient négligeable par rapport au produit  $\dot{n}_Z T$ .

\* Communication privée: Détermination de la pente d'une régression linéaire et de la variance.

The relative uncertainty on  $\mathcal{R}_Z$  is calculated by multiplying by 2 the relative standard deviation  $\frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z}$ .

The relative uncertainty on the instrument efficiency,  $(R_A)_Z$ , is:

$$\frac{\varepsilon_{(R_A)_Z}}{(R_A)_Z} = 2 \frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z} \quad (25)$$

The relative systematic error (type B error) on instrument efficiency implemented in the algorithm can be written by the expression:

$$\frac{\varepsilon_{s,(R_L)_Z}}{(R_L)_Z} = \frac{(R_A)_Z - (R_L)_Z}{(R_L)_Z} \quad (26)$$

As mentioned above  $(R_L)_Z$  can be replaced by  $(R_A)_Z$  in the algorithm, since the direction and the amplitude of the systematic error on  $(R_L)_Z$  are known when  $(R_A)_Z$  is determined.

Equation (24) demonstrates that for this kind of test, in order that the uncertainties on  $\mathcal{R}_Z$  and on  $(R_A)_Z$  can be maintained at a minimum, it is necessary that:

- the injected volume activity,  $A_V$ , and hence the instrument reading,  $(L_V)_Z$ , are as high as possible;
- the injected volume activity,  $A_V$ , and hence the instrument reading,  $(L_V)_Z$ , are maintained constant during the time interval  $T$ ;
- the air volume traversing the reference filter is as high as possible.

2) **The algorithm determines  $\dot{n}_Z$  by making a linear regression of the detected count rate,  $n_Z(t)$ , and calculating its first derivative.** In this case, the variance of  $\dot{n}_Z$  can be expressed by the following equations\*

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{6(2b + \dot{n}_Z T)}{T^3} \quad (27a)$$

or

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{6(4b + \dot{n}_Z T)}{T^3} \quad (27b)$$

Equation (27a) is applicable to instruments which do not subtract the background count rate,  $b$ , from the measured count rate, and equation (27b) is applicable to those which perform this subtraction.

In these expressions,  $T$  is the time interval between an initial time,  $t_i$ , which shall be taken from the moment where the instrument reading  $(L_V)_Z$  is stable and a final time,  $t_f$ , which shall be taken as late as possible with  $(L_V)_Z$  remaining stable. In this way  $\sigma_{\dot{n}_Z}^2$  decreases and, in addition,  $4b$  becomes negligible compared to the product  $\dot{n}_Z T$ .

---

\* Private communication: Determination of the slope of a linear regression and of its variance.

Les expressions (27a) et (27b) peuvent alors être écrites ainsi:

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{6\dot{n}_Z}{T^2} \quad (28)$$

En utilisant les mêmes arguments que ci-dessus, la variance relative de la réponse de ce type d'instrument est:

$$\left( \frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z} \right)^2 = \frac{6}{(L_V)_Z \cdot q \cdot (R_L)_Z \cdot T^2} + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{A_r}}{A_r} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_V}{V} \right)^2 \quad (29)$$

et la variance relative du rendement de ce type d'instrument est:

$$\left( \frac{\sigma_{(R_A)_Z}}{(R_A)_Z} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z} \right)^2 \quad (30)$$

Les incertitudes relatives sur  $\mathcal{R}_Z$  et  $(R_A)_Z$  sont égales à 2 fois leurs écarts types relatifs.

Comme dans le cas des instruments intégrateurs, l'équation (26) donnera l'erreur systématique (type B) sur  $(R_L)_Z$  pour ceux qui font une régression. Comme mentionné ci-dessus  $(R_L)_Z$  peut être remplacé par  $(R_A)_Z$  dans l'algorithme.

Puisque les équations (24) et (29) diffèrent seulement par le coefficient de leur premier terme, les mêmes conclusions peuvent être faites pour l'activité volumique injectée.  $A_V$ , l'indication  $(L_V)_Z$ , l'intervalle de temps  $T$  et le volume  $V$  traversant le filtre de référence lors de l'étalonnage de ces instruments.

### 3.2 Mesure de la réponse et prescriptions

#### 3.2.1 Prescriptions

Au moins un point de l'activité volumique indiquée, ou de l'activité, compris dans la gamme de mesure réelle, doit être testé avec un aérosol radioactif spécifié. Ce point doit être choisi de manière à réduire autant qu'il est possible les incertitudes sur la réponse et le rendement mesurés.

La réponse et le rendement de l'instrument, pour l'aérosol radioactif défini, doivent être spécifiés par le fabricant, avec leurs incertitudes et leurs coefficients de variation associés.

#### 3.2.2 Equipement d'essai

L'équipement d'essai suivant doit être mis en oeuvre:

- installation de génération d'aérosols radioactifs artificiels comme défini en 2.1;
- instrument de mesure du débit et du volume d'air;
- instrument en essai raccordé à un tube d'aspiration qui permet d'effectuer un prélèvement aussi isocinétique que possible, de manière à réduire les incertitudes sur l'activité volumique de l'aérosol;
- moniteur d'aérosols radioactif utilisé pour contrôler l'injection de l'activité volumique, et raccordé à un tube de prélèvement correspondant à son débit;

Expressions (27a) and (27b) can then be written:

$$\sigma_{\dot{n}_Z}^2 = \frac{6\dot{n}_Z}{T^2} \quad (28)$$

Using the same arguments as above, the relative variance of such an instrument response is:

$$\left( \frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z} \right)^2 = \frac{6}{(L_V)_Z \cdot q \cdot (R_L)_Z \cdot T^2} + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{A_r}}{A_r} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_V}{V} \right)^2 \quad (29)$$

and the relative variance of such an instrument efficiency is:

$$\left( \frac{\sigma_{(R_A)_Z}}{(R_A)_Z} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{\mathcal{R}_Z}}{\mathcal{R}_Z} \right)^2 \quad (30)$$

The relative uncertainties on  $\mathcal{R}_Z$  and  $(R_A)_Z$  are equal to their relative standard deviations multiplied by 2.

As in the case of integrating instruments, equation (26) will give the systematic error (type B error) on  $(R_L)_Z$  for those in regression. As mentioned above  $(R_L)_Z$  can be replaced by  $(R_A)_Z$  in the algorithm.

Since equations (24) and (29) only differ by the coefficient in their first term, the same conclusions can be made for the injected volume activity,  $A_V$ , reading  $(L_V)_Z$ , time interval  $T$  and volume  $V$  traversing the reference filter when calibrating these instruments.

### 3.2 Measurement of the response and requirements

#### 3.2.1 Requirements

At least one point of the indicated volume activity or activity in the effective range of measurement shall be tested with a specified radioactive aerosol. This point shall be chosen so as to reduce as much as possible the uncertainties of the measured response and efficiency.

The instrument response and efficiency, for the specified radioactive aerosol, together with their associated uncertainties and their coefficients of variation shall be stated by the manufacturer.

#### 3.2.2 Test equipment

The following test equipment shall apply:

- facility generating artificial radioactive aerosols as defined in 2.1;
- an instrument measuring the total volume or flow rate;
- an instrument under test installed on a tube that allows a sampling as isokinetic as possible in order to reduce uncertainties on aerosol volume activity;
- a radioactive aerosol monitor used for monitoring the injection of the volume activity and installed on a sampling tube corresponding to its flow rate;

- filtre de référence qui donne la valeur de l'activité volumique injectée dans la tête de prélèvement de l'instrument en essai. Ce filtre doit être choisi de telle manière que son rendement de collection pour des particules de  $0,4\ \mu\text{m}$  et  $4\ \mu\text{m}$  soit voisin de 100 %. Il est raccordé à un tube d'aspiration qui permet d'obtenir un prélèvement isocinétique pour le débit du système de pompage;
- enregistreur connecté à la sortie du signal du moniteur;
- enregistreur connecté à la sortie signal de l'instrument en essai;
- échelle de comptage connectée à la sortie de comptage des impulsions délivrées par l'instrument en essai.

### 3.2.3 *Méthode d'essai pour les instruments mesurant l'activité volumique des aérosols radioactifs artificiels*

La procédure suivante, illustrée par la figure 1, doit être appliquée:

- a) Générer les aérosols calibrés (voir 2.1) appropriés au type de rayonnement détecté par l'instrument en essai. La génération doit être réalisée pour des tailles de particules de  $0,4\ \mu\text{m}$  et  $4\ \mu\text{m}$ .
- b) Injecter les aérosols dans le moniteur. L'activité volumique observée sur l'enregistreur pendant toute la durée de l'essai doit atteindre un état stable.
- c) Ouvrir la vanne du tube de prélèvement de référence et injecter les aérosols qui sont alors collectés par le filtre de référence. Le volume d'air passant à travers ce filtre est mesuré par un appareil volumétrique. Ceci permet la détermination de l'activité volumique après la mesure spectrométrique du filtre de référence.
- d) Ouvrir la vanne du tube communiquant avec la tête de prélèvement de l'instrument en essai, ce qui définit le temps initial de l'injection des aérosols dans l'instrument;
- e) Enregistrer l'indication de l'instrument pendant une durée aussi longue que possible. Pour les instruments intégrateurs, cette durée devra être au moins égale à 20 fois la durée du cycle de l'instrument après la stabilisation de la lecture. Pour les instruments effectuant une régression, cette durée doit être de l'ordre de 1 h après la stabilisation de la lecture. Pendant cette durée, on pourra effectuer plusieurs déterminations de la réponse de l'instrument (équation 9) et de son rendement (équation 1 ou 3) avec leurs incertitudes relatives associées (équations 4 et 13) en utilisant les équations appropriées (voir 3.1.2).
- f) Les valeurs moyennes de la réponse et du rendement de l'instrument doivent être calculées avec leurs coefficients de variation associés.

### 3.2.4 *Méthode d'essai pour les instruments mesurant l'activité collectée sur un média filtrant*

La procédure suivante, illustrée par la figure 1, doit être appliquée:

Opérer comme précédemment du point a) au point d). Pendant l'étape suivante, enregistrer les impulsions sur l'échelle de comptage durant des périodes de temps convenables afin de réduire les incertitudes statistiques. Plusieurs déterminations du rendement de l'instrument doivent être faites, avec l'incertitude relative associée, en utilisant les équations appropriées (voir 3.1.1).

La valeur moyenne du rendement de l'instrument doit être calculée avec son coefficient de variation.

- a reference filter which gives the value of volume activity injected into the instrument sampling head. This filter shall be chosen so that its collection efficiency for 0,4  $\mu\text{m}$  and 4  $\mu\text{m}$  particulates is close to 100 %. It is installed on a sampling tube corresponding to the flow rate of the pumping system, in order to obtain isokinetic sampling;
- a recorder connected to the signal output of the monitor;
- a recorder connected to the signal output of the instrument under test;
- a scaler connected to the pulse-counting output of the instrument under test.

### 3.2.3 Test method for instruments measuring volume activity of radioactive artificial aerosols

The following procedure, illustrated by figure 1, shall apply.

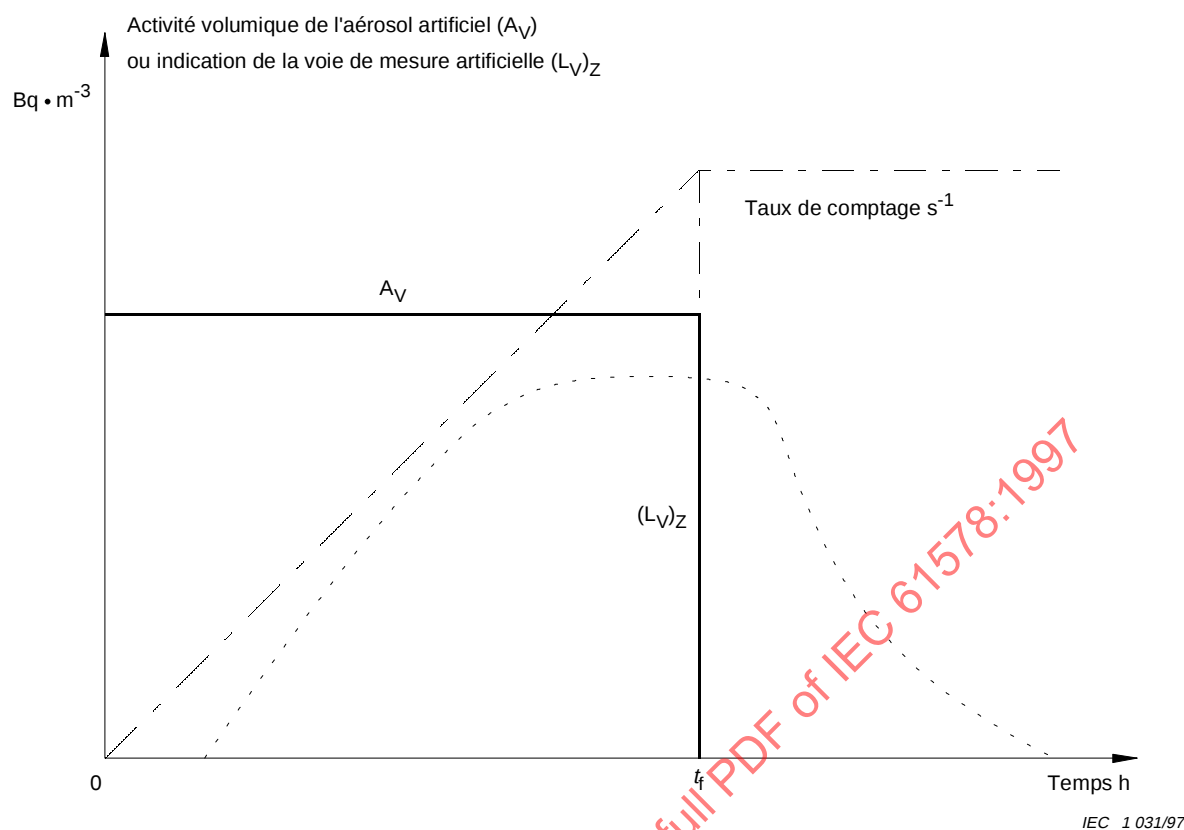
- a) Generate the defined aerosols (see 2.1) appropriate for the type of radiation detected by the instrument under test. The generation shall be carried out with particulate sizes of 0,4  $\mu\text{m}$  and 4  $\mu\text{m}$ .
  - b) Inject the aerosols into the monitor. The volume activity observed on the recorder shall reach a steady state for the duration of the test.
  - c) Open the valve of the reference sampling tube and inject the aerosols which have been collected by the reference filter. The air volume passing through this filter is measured by a volume meter. This allows the determination of the volume activity after spectrometric measurements of the reference filter.
  - d) Open the valve of the tube communicating with the sampling head of the instrument under test; this is the initial time of aerosol injection into the instrument.
  - e) Record the instrument reading for as long as possible, for example for integrating instruments, this time period should be at least 20 times the instrument cycling time after stabilization of the reading; for instruments in regression, this time period should be of the order of 1 h after stabilization of the reading.
- During this time period several determinations of the instrument response (equation 9) and efficiency (equations 1 or 3) together with their associated relative uncertainties (equations 4 and 13) shall be made using appropriate equations (see 3.1.2).
- f) The mean value of the instrument response and efficiency shall be calculated together with their associated coefficients of variation.

### 3.2.4 Test method for instruments measuring activity collected on a retaining medium

The following procedure, illustrated by figure 1, shall apply.

Operate as before from points a) to d). For the next step, register the pulses on the scaler during suitable time periods in order to reduce statistical uncertainties. Several determinations of the instrument efficiency shall be carried out together with the associated relative uncertainty using appropriate equations (see 3.1.1).

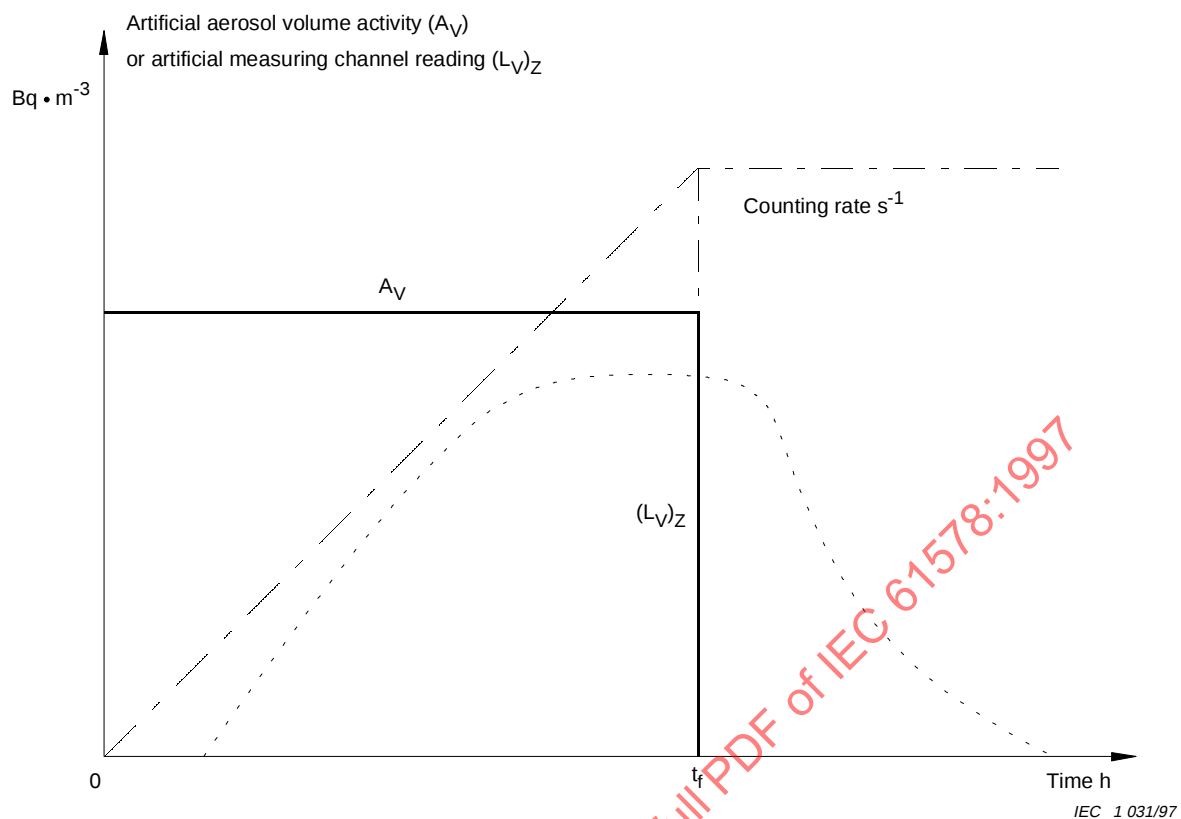
The mean value of the instrument efficiency shall be calculated together with its coefficient of variation.



$t_i = 0$ : début de l'injection et du prélèvement sur le filtre de référence et instant initial pour le prélèvement par l'instrument soumis à l'essai:

$t_i$ : fin de l'injection et instant final du prélèvement sur le filtre de référence.

**Figure 1 – Diagramme de l'injection de l'aérosol artificiel et de l'indication de la voie de mesure artificielle**



$t_i = 0$ : start of the injection and of the reference filter sampling and initial time for sampling of the instrument under test;

$t_f$ : end of the injection and final time of reference filter sampling.

**Figure 1 – Diagram of the artificial aerosol injection and artificial measuring channel reading**

#### 4 Etalonnage de la voie de mesure des aérosols radioactifs naturels

L'objet de cette méthode d'essais est de déterminer la réponse de la voie de mesure de l'activité naturelle de l'instrument à des aérosols radioactifs naturels.

##### 4.1 Principe de mesure

Les moniteurs qui mesurent les aérosols radioactifs sont souvent pourvus d'une voie de mesure de l'activité volumique naturelle. Comme le gaz radon n'est pas retenu par le média filtrant, cette activité volumique naturelle mesurée est due aux descendants du radon. Afin d'indiquer l'activité volumique naturelle sur la voie de mesure naturelle, l'instrument convertit le taux d'impulsions des descendants du radon dans cette grandeur et rejette le taux d'impulsions dû à des aérosols radioactifs artificiels. Ceci est réalisé par différentes techniques de compensation.

##### Détermination de la réponse de la voie de mesure naturelle

La réponse de la voie de mesure naturelle doit être fondée sur les considérations suivantes:

- soit  $(A_V)_{R_n}$  l'activité volumique des quatre premiers descendants injectés dans l'instrument;
- soit  $\eta_R$  le taux de comptage net ( $s^{-1}$ ) atteint par la voie de mesure naturelle après un temps suffisant,  $t = t_e$ , pour que l'apport des descendants du radon sur le média filtrant soit compensé par leur décroissance radioactive;
- dans cette condition de stabilité, l'indication de la voie naturelle de l'instrument doit être représentée par la relation suivante:

$$(L_V)_R = \frac{\eta_R}{(C_L)_R} \quad (31)$$

où  $(C_L)_R$  est le facteur de calibration fixé dans l'algorithme de l'instrument qui convertit le taux de comptage détecté dans cette voie en activité volumique naturelle.

En fonction du type d'instrument, ce facteur de calibration est exprimé en coups par seconde/Becquerel par mètre cube ( $s^{-1}/Bq \cdot m^{-3}$ ) ou sans dimension et égal à 1. Dans ce cas, la lecture correspond au taux de comptage  $(L_V)_R = \eta_R$ ;

- enfin, la réponse de la voie de mesure naturelle de l'instrument pour les aérosols radioactifs naturels est définie par la relation:

$$\mathcal{R}_R = \frac{(L_V)_R}{(A_V)_{R_n}} \text{ ou } \mathcal{R}'_R = \frac{\eta_R}{(A_V)_{R_n}} \quad (32)$$

##### Calcul de l'incertitude sur la réponse de la voie de mesure naturelle

En supposant que l'indication de la voie de mesure naturelle soit exprimée en coups par seconde ( $s^{-1}$ ) et que les variables donnant la réponse  $\mathcal{R}'_R$  soient indépendantes, puis en utilisant les mêmes arguments qu'en 3.1.1, la variance relative de la mesure de  $\mathcal{R}'_R$  devrait être donnée par:

$$\left( \frac{\sigma_{\mathcal{R}'_R}}{\mathcal{R}'_R} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{\eta_R}}{\eta_R} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{(A_V)_{R_n}}}{(A_V)_{R_n}} \right)^2 \quad (33)$$

## 4 Calibration of the measuring channel of radioactive natural aerosols

The object of this test method is to determine the response of the instrument's natural measuring channel to natural radioactive aerosols.

### 4.1 Measurement principle

In many cases, monitors measuring radioactive aerosols are provided with a channel which carries out a reading of the natural volume activity. As radon gas is not trapped by the retaining medium, the measured natural volume activity is due to radon daughters. In order to indicate the natural volume activity in a natural measuring channel, the instrument converts the pulse rate of the radon daughters into this quantity and rejects the pulse rate due to artificial radioactive aerosols. This is achieved by using different compensation techniques.

#### *Determination of the response of the natural measuring channel*

The response of the natural measuring channel shall be based on the following considerations:

- let  $(A_V)_{R_n}$  be the volume activity of the first four daughters injected into the instrument;
- let  $\eta_R$  be the net count rate ( $s^{-1}$ ) reached by the natural measuring channel after a sufficient time,  $t = t_e$ , so that the radon daughters' deposit rate on the retaining medium is compensated by their radioactive decay;
- the instrument's natural channel reading under this equilibrium condition shall be written by the following relationship:

$$(L_V)_R = \frac{\eta_R}{(C_L)_R} \quad (31)$$

where  $(C_L)_R$  is a calibration factor fixed in the instrument algorithm which converts the count rate detected in this channel into natural volume activity.

Depending on the instrument type, this calibration factor is expressed in counts per second/Becquerel per cubic meter ( $s^{-1}/Bq \cdot m^{-3}$ ) or dimensionless and equal to 1. In this case, the reading is equal to the count rate  $(L_V)_R = \eta_R$ ;

- then, the response of the instrument's natural measuring channel for natural radioactive aerosols is defined by the relationship:

$$\mathcal{R}_R = \frac{(L_V)_R}{(A_V)_{R_n}} \text{ or } \mathcal{R}'_R = \frac{\eta_R}{(A_V)_{R_n}} \quad (32)$$

#### *Calculation of the uncertainty of the response of the natural measuring channel*

Given that the reading of the natural measuring channel is expressed in counts per second ( $s^{-1}$ ) and that the variables giving the response  $\mathcal{R}'_R$  are independent, then using the same arguments as in 3.1.1, the relative variance of the measurement of  $\mathcal{R}'_R$  would be given by:

$$\left( \frac{\sigma_{\mathcal{R}'_R}}{\mathcal{R}'_R} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{\eta_R}}{\eta_R} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{(A_V)_{R_n}}}{(A_V)_{R_n}} \right)^2 \quad (33)$$

Pour réduire la variance relative de  $n_R$ , il est nécessaire de mesurer le comptage net dans un intervalle de temps défini par le temps initial ( $t_i = t_e$ ) du début de la stabilité et par le temps final ( $t_f$ ). Ainsi, le nombre de coups  $N_R(t_f) - N_R(t_e)$  est donné par l'expression:

$$N_R = N_R(t_f) - N_R(t_e) = \int_{t_e}^{t_f} n_R dt \quad (34)$$

Comme  $n_R$  est constant durant la condition de stabilité, alors:

$$N_R = n_R(t_f - t_e) \quad \text{et} \quad n_R = \frac{N_R}{t_f - t_e} \quad (35)$$

Si la variance relative de la mesure du temps est considérée comme négligeable, alors la variance relative de  $n_R$  peut être exprimée par:

$$\left( \frac{\sigma_{n_R}}{n_R} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{N_R}}{N_R} \right)^2 \quad (36)$$

Puisque  $N_R$  est obtenu par la différence du comptage brut  $N_{R,b}$  et du comptage du bruit de fond, la variance du comptage net est:

$$\sigma_{N_R}^2 = N_R + 2B \quad (37)$$

le comptage du bruit de fond  $B$  étant enregistré pendant le même intervalle de temps ( $t_f - t_e$ ).

En combinant les équations (36) et (37) on obtient:

$$\left( \frac{\sigma_{n_R}}{n_R} \right)^2 = \frac{N_R + 2B}{N_R^2} \quad (38)$$

Le calcul de la variance relative

$$\left( \frac{\sigma_{(A_V)_{R_N}}}{(A_V)_{R_N}} \right)^2$$

de la mesure d'activité volumique  $(A_V)_{R_N}$  doit être relatif à la méthode utilisée pour déterminer cette quantité. L'activité volumique des quatre premiers descendants est déterminée par comptage d'un filtre de référence installé sur le tube principal. Si l'indication de la voie de mesure naturelle est donnée en termes d'activité volumique, l'écart-type de type B (systématique) du coefficient de conversion fixé dans l'algorithme est:

$$\sigma_{s,(C_L)_R} = \frac{\mathcal{R}'_R - (C_L)_R}{3} \quad (39)$$

L'incertitude de type B sur  $(C_L)_R$  qui est prise égale à  $3\sigma_{s,(C_L)_R}$ , peut être considérée comme une erreur systématique dont la direction et l'amplitude doivent être déterminées en fonction de  $\mathcal{R}'_R$ . Si  $\mathcal{R}'_R$  est mesuré,  $(C_L)_R$  peut être remplacé par  $\mathcal{R}'_R$  dans l'algorithme.

In order to decrease the relative variance of  $n_R$ , it is necessary to measure the net counts in a time interval defined by the initial time ( $t_i = t_e$ ) at the beginning of the equilibrium and by the final time ( $t_f$ ). Thus, the number of counts  $N_R(t_f) - N_R(t_e)$  is given by the expression:

$$N_R = N_R(t_f) - N_R(t_e) = \int_{t_e}^{t_f} n_R dt \quad (34)$$

As  $n_R$  is constant during the equilibrium condition, then:

$$N_R = n_R(t_f - t_e) \quad \text{and} \quad n_R = \frac{N_R}{t_f - t_e} \quad (35)$$

If the relative variance of the time measurement is considered as negligible, then the relative variance of  $n_R$  shall be equated by:

$$\left( \frac{\sigma_{n_R}}{n_R} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{N_R}}{N_R} \right)^2 \quad (36)$$

As  $N_R$  is obtained by a difference between the gross count  $N_{R,b}$  and the background count, then the variance of the net count shall be:

$$\sigma_{N_R}^2 = N_R + 2B \quad (37)$$

with  $B$  being the background count registered in the same time interval ( $t_f - t_e$ ).

Combining equations (36) and (37) gives:

$$\left( \frac{\sigma_{n_R}}{n_R} \right)^2 = \frac{N_R + 2B}{(N_R)^2} \quad (38)$$

The calculation of the relative variance

$$\left( \frac{\sigma_{(A_V)_{R_N}}}{(A_V)_{R_N}} \right)^2$$

of the volume activity measurement  $(A_V)_{R_N}$  shall be related to the method used for determining this quantity. The volume activity of the first four daughters is determined by counting a sampling reference filter installed on the main tube. If the reading of the natural measuring channel is expressed in terms of natural volume activity, the type B standard deviation (systematic) of the conversion coefficient fixed in the algorithm is:

$$\sigma_{s,(C_L)_R} = \frac{\mathcal{R}'_R - (C_L)_R}{3} \quad (39)$$

The type B uncertainty on  $(C_L)_R$  which is to be taken equal to  $3\sigma_s$ ,  $(C_L)_R$ , can be considered as a systematic error whose direction and amplitude are to be determined with respect to  $\mathcal{R}'_R$ . If  $\mathcal{R}'_R$  is measured,  $(C_L)_R$  can be replaced by  $\mathcal{R}'_R$  in the algorithm.

## 4.2 Mesure de la réponse et prescriptions

### 4.2.1 Prescriptions

Au moins un point de l'activité volumique naturelle indiquée, compris dans la gamme de mesure réelle, doit être testé avec un aérosol radioactif spécifié. Ce point doit être choisi de manière à réduire autant que possible les incertitudes sur la réponse mesurée.

La réponse de l'instrument, pour l'aérosol radioactif défini, doit être spécifiée par le fabricant, avec ses incertitudes et son coefficient de variation associés.

### 4.2.2 Equipement d'essai

L'équipement d'essai suivant doit être mis en oeuvre:

- installation de génération d'aérosols radioactifs naturels comme défini en 2.2;
- instrument de mesure du débit ou du volume d'air;
- instrument en essai raccordé à un tube d'aspiration qui permet d'effectuer un prélèvement aussi isocinétique que possible, de manière à réduire les incertitudes sur l'activité volumique de l'aérosol;
- moniteur de gaz radon pour contrôler l'activité volumique du radon avant l'injection;
- deux dispositifs d'échantillonnage connectés au tube principal pour mesurer l'activité volumique de chacun des quatre premiers descendants, les fractions libre et attachée et le facteur d'équilibre;
- équipement pour générer un aérosol inactif dont on connaît la concentration numérique ou massique, ainsi que sa granulométrie;
- enregistreur connecté à la sortie signal du moniteur de gaz radon;
- enregistreur connecté à la sortie signal de la voie de mesure naturelle de l'instrument en essai;
- échelle de comptage connectée à la sortie du comptage des impulsions de la voie de mesure naturelle de l'instrument en essai.

### 4.2.3 Méthode d'essai

La procédure suivante, illustrée par la figure 2, doit être appliquée.

- a) Avant l'injection, l'activité volumique du gaz radon est ajustée à l'aide du moniteur de radon, de manière à obtenir l'activité volumique des descendants du radon définie en 2.2.
- b) Injecter l'activité volumique du radon choisie et l'aérosol inactif à travers le volume de vieillissement, durant un temps suffisant correspondant à trois renouvellements du volume de vieillissement, de telle manière que les activités volumiques des quatre premiers descendants atteignent un état stable.
- c) Cet aérosol radioactif naturel est alors injecté dans les deux dispositifs de prélèvement afin de mesurer les activités volumiques des quatre premiers descendants, les fractions libre et attachée et le facteur d'équilibre.
- d) Injecter ensuite l'aérosol radioactif naturel dans la tête de prélèvement de l'instrument.
- e) Enregistrer l'indication de la voie de mesure naturelle pendant un temps aussi long que possible. Après avoir observé une stabilisation de la lecture, enregistrer les impulsions sur l'échelle de comptage durant des périodes de temps convenables pour réduire les incertitudes statistiques sur le taux de comptage net calculé (voir 4.1). Plusieurs déterminations de la réponse de la voie de mesure naturelle (équation 32) et des incertitudes relatives associées (équation 33) seront faites en utilisant les équations appropriées (voir 4.1).
- f) Les valeurs moyennes de la réponse de la voie de mesure naturelle et de son coefficient de variation associé seront calculées.

## 4.2 *Measurement of the response and requirements*

### 4.2.1 *Requirements*

At least one point of the indicated natural volume activity in the effective range of measurement shall be tested with a specified radioactive aerosol. This point shall be chosen so as to reduce as much as possible the uncertainties of the measured response.

The instrument response for the specified radioactive aerosol, together with its associated uncertainties and its coefficient of variation, shall be stated by the manufacturer.

### 4.2.2 *Test equipment*

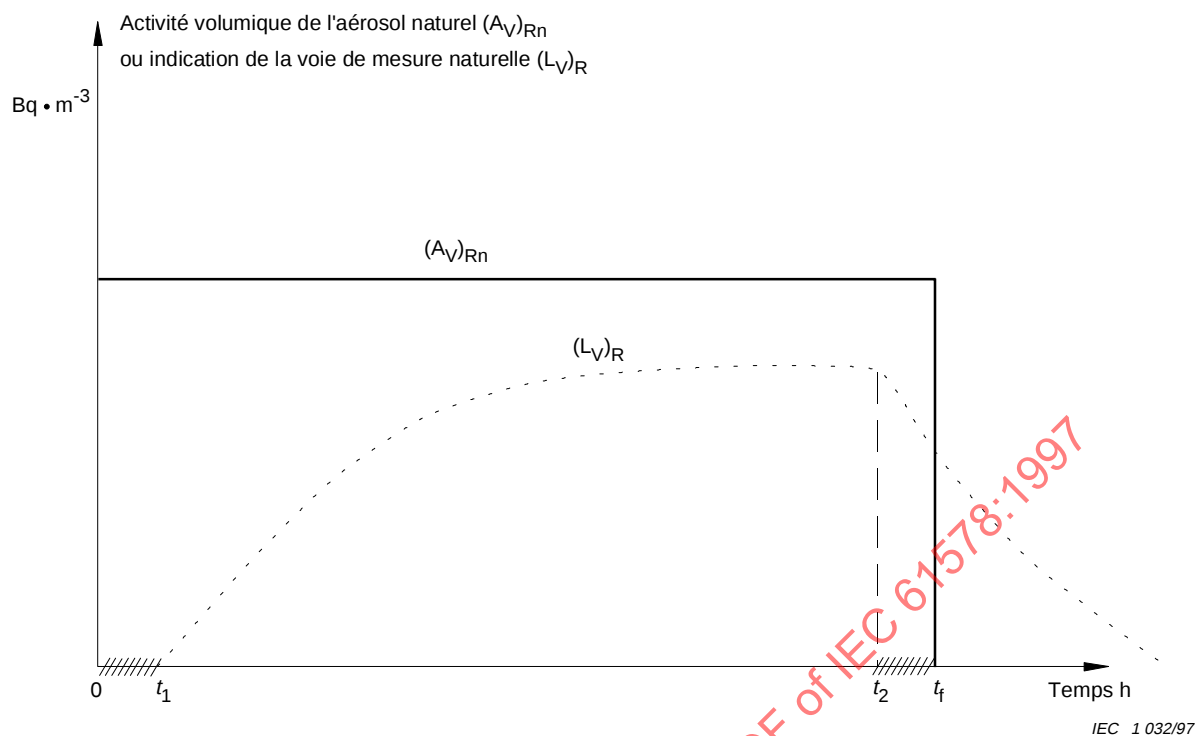
The following test equipment shall apply:

- facility generating natural radioactive aerosols as defined in 2.2;
- an instrument measuring the total volume or flow rate;
- an instrument under test installed on a tube that allows a sampling as isokinetic as possible in order to reduce uncertainties on aerosol volume activity;
- a radon gas monitor for monitoring radon volume activity before injection;
- two sampling devices connected to the main tube to measure the volume activity of each of the first four daughters, the free and attached fractions and the equilibrium factor;
- equipment for generating inactive aerosol with known mass or numerical concentration and granulometry;
- a recorder connected to the signal output of the radon gas monitor;
- a recorder connected to the signal output of the natural measuring channel of the instrument under test;
- a scaler connected to the pulse-counting output of the natural measuring channel of the instrument under test.

### 4.2.3 *Test method*

The following procedure, illustrated by figure 2, shall apply.

- a) Before injection, the radon gas volume activity is adjusted using the radon monitor, in order to obtain radon daughters' volume activity as defined in 2.2.
- b) Inject the chosen radon volume activity and the inactive aerosol through the ageing volume for sufficient time to correspond to three renewals of the ageing volume, so that the volume activities of the first four daughters reach a steady state.
- c) This natural radioactive aerosol is then injected into the two sampling devices in order to measure the volume activities of the first four daughters, the free and attached fractions and the equilibrium factor.
- d) Inject this natural radioactive aerosol into the instrument sampling head.
- e) Record the instrument's natural channel reading for as long as possible. After stabilization of the reading is observed on the recorder, register the pulses on the scaler during suitable time periods in order to reduce statistical uncertainties on the calculated net count rate (see 4.1). Several determinations of the natural measuring channel response (equation 32) and its associated relative uncertainties (equation 33) shall be made using appropriate equations (see 4.1).
- f) The mean value of the natural measuring channel response and its associated coefficient variation shall be calculated.



$t_i = 0$ : début de l'injection de l'aérosol naturel;

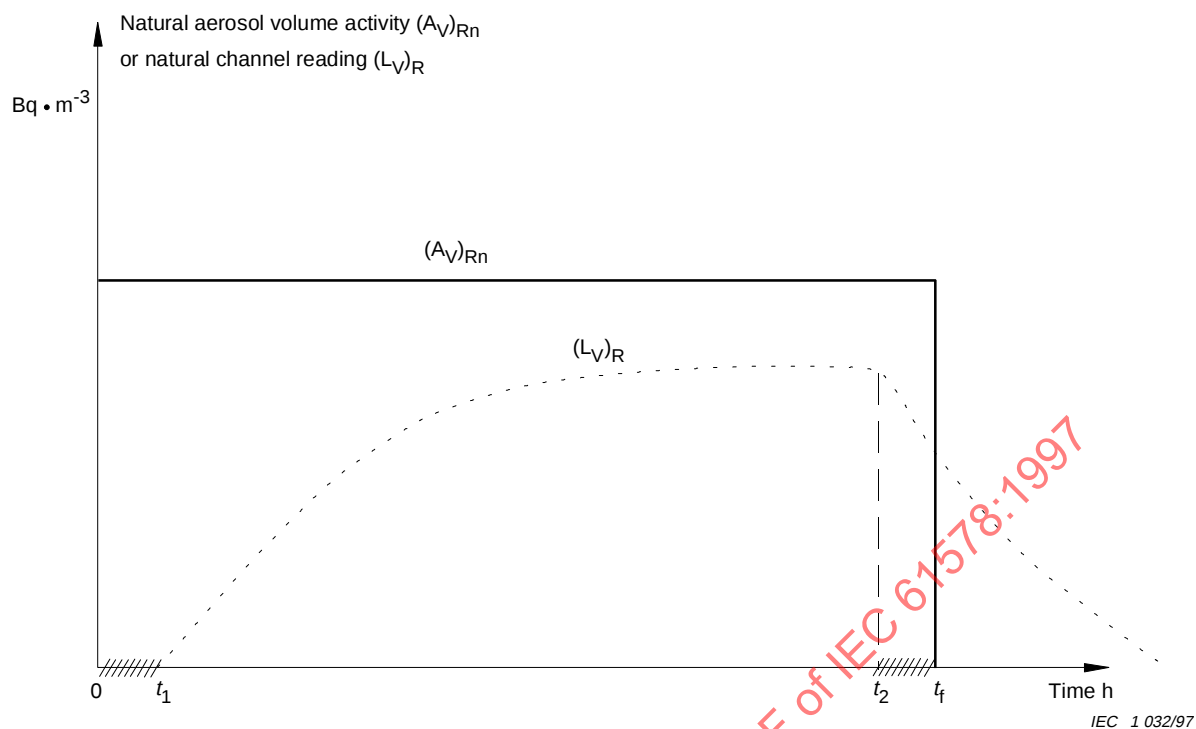
entre  $t_i = 0$  et  $t_1$ : première détermination des caractéristiques de l'aérosol des descendants du radon;

$t_1$ : instant initial pour le prélèvement de l'instrument soumis à l'essai;

entre  $t_2$  et  $t_f$ : deuxième détermination des caractéristiques de l'aérosol des descendants du radon;

$t_f$ : instant final de l'injection.

**Figure 2 – Diagramme de l'injection de l'aérosol naturel et de l'indication de la voie de mesure naturelle**



$t_i = 0$ : start time of the natural aerosol injection;

between  $t_i = 0$  and  $t_1$ : first determination of the characteristics of radon daughters' aerosol;

$t_1$ : initial time for sampling of the instrument under test;

between  $t_2$  and  $t_f$ : second determination of the characteristics of radon daughters aerosol;

$t_f$ : final time of injection.

**Figure 2 – Diagram of the natural aerosol injection and natural aerosol measuring channel reading**

## 5 Contrôle de l'efficacité de la compensation radon

L'objet de cette méthode d'essai est de déterminer l'influence d'un aérosol des descendants du radon défini sur l'indication de la voie de mesure artificielle de l'instrument.

### 5.1 Principe de mesure

Comme il a déjà été mentionné en 3.1, ces instruments expriment le résultat de mesure, soit en termes d'activité globale artificielle collectée sur le média filtrant, soit en termes d'activité globale volumique ou de concentration des aérosols radioactifs artificiels.

#### 5.1.1 Instruments mesurant l'activité artificielle collectée sur un média filtrant

La discrimination entre les activités d'origine naturelle ou artificielle des aérosols collectés sur le média filtrant est effectuée soit par le traitement du taux de comptage à l'aide d'un algorithme, soit par d'autres techniques. La fonction principale du système de discrimination est de conserver les impulsions dues à l'aérosol radioactif artificiel et d'éliminer au maximum celles dues aux descendants du radon.

#### Détermination du coefficient d'influence

Le coefficient d'influence est basé sur les considérations suivantes:

- soit  $(A_V)_{R_n}$  l'activité volumique des quatre premiers descendants du radon injectés dans l'instrument;
- soit  $n$  le taux de comptage net de la voie de mesure artificielle de l'instrument atteint après un temps suffisant  $t = t_e$  pour que l'apport des descendants du radon soit compensé par leur décroissance radioactive;

Dans cette condition de stabilité, l'indication de la voie de mesure artificielle de l'instrument peut être donnée par la relation suivante:

$$L = \frac{n}{(R_L)_Z} \quad (40)$$

où  $(R_L)_Z$  est le rendement introduit dans l'algorithme de traitement relatif à l'activité d'un radionucléide  $Z$  déposé sur le média filtrant, pour lequel l'instrument est étudié.

Selon le type d'instrument, ce paramètre est exprimé en coups par seconde/Becquerel ( $s^{-1}/Bq$ ) ou sans dimension et égal à 1. Dans ce cas, l'indication est égale au taux de comptage ( $L = n$ ).

- supposons maintenant que seul un aérosol d'un radionucléide,  $Z$ , pour lequel l'instrument est conçu, est injecté dans la tête de prélèvement avec la même activité volumique,  $A_V = (A_V)_{R_n}$ .

Comme il est indiqué en 3.1.1, le taux de comptage net détecté au temps  $t$  après le début de l'injection est donné par l'expression:

$$n_Z(t) = A_V \cdot q \cdot t \cdot (R_A)_Z \quad (41)$$

où

$(R_A)_Z$  est le rendement de détection relatif au radionucléide,  $Z$ , déposé sur le média filtrant;

$q$  est le débit du système de pompage.

## 5 Verification of the effectiveness of radon compensation

The object of this test method is to determine the influence of radon daughters-defined aerosol on the reading of the instrument's artificial measuring channel.

### 5.1 Measurement principle

As already mentioned in 3.1, these instruments carry out the reading, either in terms of total artificial activity collected on the retaining medium, or in terms of total volume activity or concentration of the artificial radioactive aerosols.

#### 5.1.1 Instruments measuring artificial activity collected on a retaining medium

The discrimination between natural and artificial radioactive aerosols collected on the retaining medium is carried out either by treatment of the count rate signal with an algorithm or by another technique. The main function of the discriminating system is to keep the pulses due to artificial aerosols and to eliminate as much as possible those due to radon daughters.

#### Determination of the influence coefficient

The influence coefficient is based on the following considerations:

- let  $(A_V)_{R_n}$  be the volume activity of the first four radon daughters into the instrument;
- let  $n$  be the net count rate reached by the instrument artificial measuring channel, after a sufficient time  $t = t_e$ , so that the radon daughters' deposition rate is compensated by their radioactive decay.

The instrument artificial channel reading under this equilibrium condition can be written by the following relationship:

$$L = \frac{n}{(R_L)_Z} \quad (40)$$

where  $(R_L)_Z$  is a fixed efficiency in the instrument algorithm relative to deposited artificial activity on the retaining medium of radionuclide,  $Z$ , for which the instrument is designed.

Depending on the instrument type, this parameter is expressed in counts per second/Becquerel ( $s^{-1}/Bq$ ) or dimensionless and equal to 1. In this case, the reading is equal to the count rate ( $L = n$ ).

- suppose now that only an aerosol of a radionuclide,  $Z$ , for which the instrument is designed, is injected into its sampling head with the same volume activity,  $A_V = (A_V)_{R_n}$ .

As mentioned in 3.1.1, the net count rate detected at the time  $t$  after the beginning of the injection is given by the expression:

$$n_Z(t) = A_V \cdot q \cdot t \cdot (R_A)_Z \quad (41)$$

where

$(R_A)_Z$  is the detection efficiency relative to the radionuclide,  $Z$ , deposited on the retaining medium;

$q$  is the flow rate of the pumping system.

L'indication de l'instrument en termes d'activité collectée du radionucléide,  $Z$ , est donnée par l'expression:

$$L_Z(t) = \frac{A_V \cdot q \cdot t (R_A)_Z}{(R_L)_Z} \quad (42)$$

– Le coefficient d'influence,  $k(t)$ , est alors calculé par le rapport suivant:

$$k(t) = \frac{L}{L_Z(t)}$$

d'où

$$k(t) = \frac{n}{A_V \cdot q \cdot t (R_A)_Z} \quad (43)$$

– si dans cette expression,  $t$  est égal à  $t_e$ , on obtient:

$$k_e = \frac{n}{A_V \cdot q \cdot t_e (R_A)_Z} \quad (44)$$

Le temps théorique nécessaire pour établir la stabilité est indépendant du débit traversant le média filtrant. Il ne dépend que des périodes des descendants du radon [9].

On prendra pour  $t_e$  une valeur supérieure au moins égale à 1,5 h de manière à être sûr d'atteindre la condition de stabilité. Par conséquent, le coefficient d'influence au temps  $t = 5\,400$  s est donné par l'expression:

$$(k)_{t=1,5\text{ h}} = \frac{n}{5\,400 \times A_V \times q \times (R_A)_Z} \quad (45)$$

Ce coefficient,  $(k)_{t=1,5\text{ h}}$ , doit être utilisé pour déterminer l'influence des descendants du radon sur l'indication des instruments qui mesurent l'activité artificielle déposée sur un média filtrant.

L'inverse de ce coefficient est une mesure de l'efficacité de la compensation du radon et ses descendants.

#### Détermination de l'incertitude sur le coefficient d'influence

La variance relative de  $(k)_{t=1,5\text{ h}}$  peut être exprimée en utilisant la même base de discussion que dans la méthode d'essai de 3.1, de la manière suivante:

$$\left( \frac{\sigma_k}{k} \right)_{t=1,5\text{ h}}^2 = \left( \frac{\sigma_n}{n} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{A_V}}{A_V} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{(R_A)_Z}}{(R_A)_Z} \right)^2 \quad (46)$$

La variance relative du temps de mesure est considérée comme négligeable.

Les variances relatives de  $n$  et  $q$  peuvent être calculées comme en 3.1.1. La variance relative de type A de  $(R_A)_Z$  doit être évaluée à partir de la méthode décrite en 3.1.1. Compte tenu du fait que l'indication  $L_Z(t)$  (équation 42) est obtenue par calcul, avec  $(A_V)$  pris égal à  $(A_V)_{R_n}$ , la variance relative de  $A_V$  est égale à celle de  $(A_V)_{R_n}$ .

The instrument reading in terms of collected activity of the radionuclide,  $Z$ , is given by the expression:

$$L_Z(t) = \frac{A_V \cdot q \cdot t (R_A)_Z}{(R_L)_Z} \quad (42)$$

– The influence coefficient,  $k(t)$ , is then calculated by the following quotient:

$$k(t) = \frac{L}{L_Z(t)}$$

that is

$$k(t) = \frac{n}{A_V \cdot q \cdot t (R_A)_Z} \quad (43)$$

– if in this expression,  $t$  is taken equal to  $t_e$ , it becomes:

$$k_e = \frac{n}{A_V \cdot q \cdot t_e (R_A)_Z} \quad (44)$$

The theoretical time for establishing equilibrium condition is independent of the flow rate traversing the retaining medium. It depends only on radon daughters' half-lives [9].

A value in excess of  $t_e$  shall be taken equal to 1,5 h in order to be sure that the equilibrium condition is reached. Therefore the influence coefficient at the time  $t = 5\,400$  s shall be expressed by:

$$(k)_{t=1,5\text{ h}} = \frac{n}{5\,400 \times A_V \times q \times (R_A)_Z} \quad (45)$$

This coefficient,  $(k)_{t=1,5\text{ h}}$ , shall be used to determine the influence of radon daughters on the reading of instruments measuring artificial activity deposited on a retaining medium.

The inverse of this coefficient is a measure of the effectiveness of radon and radon daughters' compensation.

#### *Determination of the uncertainty on the influence coefficient*

The relative variance of  $(k)_{t=1,5\text{ h}}$ , can be equated, using the same basis discussed in the test method of 3.1, as follows:

$$\left( \frac{\sigma_k}{k} \right)_{t=1,5\text{ h}}^2 = \left( \frac{\sigma_n}{n} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{A_V}}{A_V} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{(R_A)_Z}}{(R_A)_Z} \right)^2 \quad (46)$$

The relative variance of the time measurement is considered as negligible.

The relative variances of  $n$  and  $q$  can be calculated as in 3.1.1. The type A relative variance of  $(R_A)_Z$  shall be computed from the method described in 3.1.1. Due to the fact that the reading  $L_Z(t)$  (equation 42) is obtained by calculation, with  $(A_V)$  taken equal to  $(A_V)_{R_n}$ , then the relative variance of  $A_V$  is equal to that of  $(A_V)_{R_n}$ .

Comme indiqué en 4.1,

$$\left( \frac{\sigma(A_V)_{R_n}}{(A_V)_{R_n}} \right)^2$$

peut être estimé en connaissant la méthode utilisée pour déterminer  $(A_V)_{R_n}$ .

L'incertitude relative sur  $(k)_{t=1,5 \text{ h}}$  est égale à son écart-type relatif multiplié par 2.

### 5.1.2 Instruments mesurant l'activité volumique des aérosols radioactifs artificiels

Ainsi qu'il est mentionné en 3.1.2, l'indication de ce type d'instrument résulte du calcul de la dérivée première en fonction du temps du taux de comptage délivré par le détecteur faisant face au média filtrant. Les techniques mathématiques décrites en 3.1.2 dans la méthode d'essai sont utilisées dans les algorithmes de traitement pour calculer cette dérivée première,  $\dot{n}_Z$ .

Comme indiqué précédemment, la fonction principale du système de discrimination est également dans ce cas d'éliminer autant que possible l'influence des aérosols radioactifs naturels, afin que l'indication de l'instrument n'en soit que faiblement affectée.

#### Détermination du coefficient d'influence

Le coefficient d'influence peut être défini comme suit:

- soit  $(L_V)_{R_n}$  l'indication de la voie de mesure artificielle de l'instrument, en condition de stabilité, soumis à une activité volumique constante,  $(A_V)_{R_n}$ , due à un aérosol de descendants du radon défini. La sensibilité de la voie de mesure artificielle de l'instrument à cet aérosol est alors donnée par l'expression:

$$S_{R_n} = \frac{(L_V)_{R_n}}{(A_V)_{R_n}} \quad (47)$$

- soit  $(L_V)_Z$  l'indication de la voie de mesure artificielle de l'instrument lorsqu'il est ensuite soumis à une activité volumique constante,  $A_V$ , due à un aérosol défini de radionucléide, Z, pour lequel l'instrument est conçu. La réponse à cet aérosol est obtenue comme dans la méthode d'essai décrite en 3.1.2, par l'expression suivante:

$$\mathcal{R}_Z = \frac{(L_V)_Z}{A_V} = \frac{(R_A)_Z}{(R_L)_Z} \quad (48)$$

où

$(R_A)_Z$  est le rendement mesuré (voir 3.1);

$(R_L)_Z$  est le rendement implanté dans le logiciel relatif au radionucléide Z.

Ainsi le coefficient d'influence d'un aérosol des descendants du radon en condition de stabilité peut être donné par la relation:

$$k_V = \frac{S_{R_n}}{\mathcal{R}_Z} \quad (49)$$

As mentioned in 4.1,

$$\left( \frac{\sigma(A_V)_{R_n}}{(A_V)_{R_n}} \right)^2$$

can be computed knowing the method used for determining  $(A_V)_{R_n}$ .

The relative uncertainty on  $(k)_{t=1,5 \text{ h}}$  is equal to its relative standard deviation multiplied by 2.

#### 5.1.2 Instruments measuring volume activity of radioactive artificial aerosols

As mentioned in 3.1.2, the reading of such instruments is carried out by calculation of the first derivative with respect to time of the count rate delivered by the detector facing the retaining medium. Mathematical techniques described in test method in 3.1.2 are used in instrument algorithm in order to compute this first derivative,  $\dot{n}_Z$ .

As mentioned above, the main function of the discriminating system is also in this case to reject as much as possible the influence of natural aerosols, so that the instrument reading is hardly affected by them.

#### Determination of the influence coefficient

The influence coefficient can be defined as follows:

- let  $(L_V)_{R_n}$  be the instrument's artificial measuring channel reading, in equilibrium conditions, when it is submitted to a constant volume activity,  $(A_V)_{R_n}$ , due to radon daughters-defined aerosol. The sensitivity of the instrument's artificial measuring channel to this aerosol is then given by the expression:

$$S_{R_n} = \frac{(L_V)_{R_n}}{(A_V)_{R_n}} \quad (47)$$

- let  $(L_V)_Z$  be the instrument's artificial measuring channel reading, when it is submitted to a constant volume activity,  $A_V$ , due to a defined aerosol of the radionuclide, Z, for which the instrument is designed. The instrument response for this aerosol is equated, as in the test method described in 3.1.2, by the following expression:

$$\mathcal{R}_Z = \frac{(L_V)_Z}{A_V} = \frac{(R_A)_Z}{(R_L)_Z} \quad (48)$$

where

$(R_A)_Z$  is the measured efficiency (see 3.1);

$(R_L)_Z$  is the implemented efficiency relative to radionuclide Z.

Thus, the influence coefficient in the equilibrium condition for radon daughters' aerosol can be given by the relationship:

$$k_V = \frac{S_{R_n}}{\mathcal{R}_Z} \quad (49)$$

L'inverse de ce coefficient est une mesure de l'efficacité de la compensation du radon et ses descendants.

#### Détermination de l'incertitude sur le coefficient d'influence

La variance relative de  $k_V$  peut être calculée en utilisant les mêmes arguments de discussion qu'en 3.1. A cet effet, il est nécessaire de se rappeler les deux cas examinés dans la méthode d'essai, en 3.1.2, concernant le principe de fonctionnement de l'algorithme:

a) si l'algorithme calcule la pente  $\dot{n}_Z$  par intégration, alors:

$$\left( \frac{\sigma_{k_V}}{k_V} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{S_{R_n}}}{S_{R_n}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{R_Z}}{R_Z} \right)^2 \quad (50)$$

L'équation (24b) en 3.1.2 précise que  $\left( \frac{\sigma_{R_Z}}{R_Z} \right)^2$  et  $\left( \frac{\sigma_{S_{R_n}}}{S_{R_n}} \right)^2$  sont de la même forme, d'où:

$$\left( \frac{\sigma_{S_{R_n}}}{S_{R_n}} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_{(L_V)_{R_n}}}{(L_V)_{R_n}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{(A_V)_{R_n}}}{(A_V)_{R_n}} \right)^2 = \frac{2 \left[ T(L_V)_{R_n} \cdot q \cdot (R_L)_Z + 4b \right]}{T^3 \cdot (L_V)_{R_n}^2 \cdot q^2 \cdot (R_L)_Z^2} + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{(A_V)_{R_n}}}{(A_V)_{R_n}} \right)^2 \quad (51)$$

Les variances relatives de  $q$  et  $(A_V)_{R_n}$  doivent être calculées comme en 3.1.2 et 4.1.

$(L_V)_{R_n}$  et  $(L_V)_b$  sont respectivement les indications de l'instrument lorsqu'il est soumis à l'aérosol des descendants du radon avec une activité volumique injectée  $(A_V)_{R_n}$ , et lorsque cet aérosol est absent.

$(L_V)_b$  représente l'indication due au bruit de fond qui ne peut pas être négligé dans ce cas, surtout si l'instrument élimine efficacement l'influence des descendants du radon.

b) si l'algorithme calcule  $\dot{n}_Z$  par régression linéaire, la même équation (50) sert à calculer

$\left( \frac{\sigma_{k_V}}{k_V} \right)^2$ , mais comme mentionné en 3.1.2,  $\left( \frac{\sigma_{S_{R_n}}}{S_{R_n}} \right)^2$  doit être écrit par une expression qui ne diffère de l'équation (51) que par son premier terme.

$$\left( \frac{\sigma_{S_{R_n}}}{S_{R_n}} \right)^2 = \frac{6 \left[ T(L_V)_{R_n} \cdot q \cdot (R_L)_Z + 4b \right]}{T^3 \cdot (L_V)_{R_n}^2 \cdot q^2 \cdot (R_L)_Z^2} + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{(A_V)_{R_n}}}{(A_V)_{R_n}} \right)^2 \quad (52a)$$

ou

$$\left( \frac{\sigma_{S_{R_n}}}{S_{R_n}} \right)^2 = \frac{6 \left[ T(L_V)_{R_n} \cdot q \cdot (R_L)_Z + 2b \right]}{T^3 \cdot (L_V)_{R_n}^2 \cdot q^2 \cdot (R_L)_Z^2} + \left( \frac{\sigma_q}{q} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{(A_V)_{R_n}}}{(A_V)_{R_n}} \right)^2 \quad (52b)$$

Comme indiqué en 3.1.2, l'équation (52a) doit être appliquée aux instruments qui soustraient le bruit de fond du taux de comptage mesuré, et l'équation (52b) à ceux qui ne font pas cette soustraction.

L'incertitude relative sur  $k_V$  est égale à son écart-type relatif multiplié par 2.