

# NORME INTERNATIONALE

# ISO 11665-4

Deuxième édition  
2020-01

---

---

## Mesurage de la radioactivité dans l'environnement — Air: radon 222 —

Partie 4:

**Méthode de mesure intégrée pour  
la détermination de l'activité  
volumique moyenne du radon avec  
un prélèvement passif et une analyse  
en différé**

*Measurement of radioactivity in the environment — Air:  
radon-222 —*

*Part 4: Integrated measurement method for determining average  
activity concentration using passive sampling and delayed analysis*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/91260-af-40c6-4581-9408-919866818c4b/iso-11665-4-2020>



Numéro de référence  
ISO 11665-4:2020(F)

© ISO 2020

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

ISO 11665-4:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9fee64ff-a0eb-45bf-9468-919b66b18cdb/iso-11665-4-2020>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2020

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8  
CH-1214 Vernier, Genève  
Tél.: +41 22 749 01 11  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

# Sommaire

Page

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Avant-propos</b>   | <b>iv</b> |
| <b>Introduction</b>   | <b>v</b>  |
| <b>1 Domaine d'application</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2 Références normatives</b>  | <b>1</b>  |
| <b>3 Termes, définitions et symboles</b>  | <b>1</b>  |
| 3.1 Termes et définitions   | 1         |
| 3.2 Symboles  | 2         |
| <b>4 Principe</b>   | <b>2</b>  |
| <b>5 Équipement</b>   | <b>3</b>  |
| <b>6 Prélèvement</b>  | <b>3</b>  |
| 6.1 Objectif du prélèvement   | 3         |
| 6.2 Caractéristiques du prélèvement   | 3         |
| 6.3 Conditions de prélèvement   | 4         |
| 6.3.1 Généralités   | 4         |
| 6.3.2 Installation du capteur   | 4         |
| 6.3.3 Durée du prélèvement  | 4         |
| 6.3.4 Volume d'air prélevé  | 5         |
| <b>7 Détection</b>  | <b>5</b>  |
| <b>8 Mesurage</b>   | <b>5</b>  |
| 8.1 Mode opératoire   | 5         |
| 8.2 Grandeurs d'influence   | 5         |
| 8.3 Étalonnage  | 5         |
| <b>9 Expression des résultats</b>   | <b>6</b>  |
| 9.1 Activité volumique moyenne du radon   | 6         |
| 9.2 Incertitude-type  | 6         |
| 9.3 Seuil de décision et limite de détection  | 6         |
| 9.4 Limites de l'intervalle de confiance  | 6         |
| <b>10 Rapport d'essai</b>   | <b>6</b>  |
| <b>Annexe A (informative) Méthode de mesure utilisant un détecteur solide de traces nucléaires (DSTN)</b> | <b>8</b>  |
| <b>Annexe B (informative) Méthode de mesure utilisant un détecteur à électret</b>                         | <b>14</b> |
| <b>Annexe C (informative) Méthode de mesure utilisant du charbon actif</b>                                | <b>22</b> |
| <b>Bibliographie</b>  | <b>31</b> |

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [www.iso.org/iso/fr/avant-propos](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 85, *Énergie nucléaire, technologies nucléaires, et radioprotection*, sous-comité SC 2, *Radioprotection*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 11665-4:2012), dont elle constitue une révision mineure. Les modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- l'Introduction a été mise à jour;
- la Bibliographie a été mise à jour.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 11665 se trouve sur le site web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/fr/members.html](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

Les isotopes 222, 219 et 220 (ce dernier étant également appelé thoron) du radon sont des gaz radioactifs produits par la désintégration des isotopes 226, 223 et 224 du radium, lesquels sont respectivement des descendants de l'uranium-238, de l'uranium-235 et du thorium-232, et sont tous présents dans l'écorce terrestre (voir [Annexe A](#) pour de plus amples informations). Des éléments solides, eux aussi radioactifs, suivis par du plomb stable, sont produits par la désintégration du radon<sup>[1]</sup>.

Lorsqu'il se désintègre, le radon émet des particules alpha et génère des descendants solides qui sont eux aussi radioactifs (polonium, bismuth, plomb, etc.). Les effets potentiels du radon sur la santé humaine sont liés aux descendants plutôt qu'au gaz lui-même. Qu'ils soient ou non attachés à des aérosols atmosphériques, les descendants du radon peuvent être inhalés et déposés dans l'arbre broncho-pulmonaire à différentes profondeurs, suivant leur taille<sup>[2][3][4][5]</sup>.

Le radon est aujourd'hui considéré comme la principale source d'exposition de l'homme au rayonnement naturel. L'UNSCEAR<sup>[6]</sup> suggère qu'au niveau mondial, le radon intervient pour environ 52 % de l'exposition moyenne globale au rayonnement naturel. L'impact radiologique de l'isotope 222 (48 %) est nettement plus important que celui de l'isotope 220 (4 %); l'isotope 219 est quant à lui considéré comme négligeable (voir [Annexe A](#)). Pour cette raison, les références au radon dans le présent document désignent exclusivement le radon-222.

L'activité volumique du radon peut varier d'un à plusieurs ordres de grandeur dans le temps et l'espace. L'exposition au radon et à ses descendants varie considérablement d'un lieu à l'autre. Elle dépend de la quantité de radon émise par le sol et les matériaux de construction en ces lieux, des conditions météorologiques et du degré de confinement dans les lieux où sont exposées les personnes.

Comme le radon a tendance à se concentrer dans les espaces clos tels que les maisons, la majeure partie de l'exposition de la population provient du radon présent dans l'atmosphère intérieure des bâtiments. Le gaz issu du sol est reconnu comme étant la plus importante source de radon résidentiel via des voies d'infiltration. D'autres sources sont décrites dans d'autres parties de l'ISO 11665 et dans la série ISO 13164 pour l'eau<sup>[7]</sup>.

Le radon pénètre dans les bâtiments par un mécanisme de diffusion dû à la différence permanente entre l'activité volumique du radon dans le sol sous-jacent et celle existant à l'intérieur du bâtiment, et par un mécanisme de convection généré par intermittence par une différence de pression entre l'air dans le bâtiment et celui contenu dans le sol sous-jacent. L'activité volumique du radon à l'intérieur des bâtiments dépend de l'activité volumique du radon dans le sol sous-jacent, de la structure du bâtiment, des équipements (cheminée, systèmes de ventilation mécanique, entre autres), des paramètres environnementaux du bâtiment (température, pression, etc.), mais également du mode de vie de ses occupants.

Pour limiter le risque pour les individus, un niveau de référence national de 100 Bq·m<sup>-3</sup> est recommandé par l'Organisation mondiale de la santé<sup>[5]</sup>. Lorsque cela n'est pas possible, il convient que ce niveau de référence ne dépasse pas 300 Bq·m<sup>-3</sup>. Cette recommandation a été entérinée par les États membres de la Communauté européenne qui doivent établir des niveaux de référence nationaux pour les activités volumiques du radon à l'intérieur des bâtiments. Les niveaux de référence pour l'activité volumique moyenne annuelle dans l'air ne doivent pas être supérieurs à 300 Bq·m<sup>-3</sup><sup>[5]</sup>.

Pour réduire le risque pour l'ensemble de la population, il convient de mettre en œuvre des codes du bâtiment qui exigent des mesures de prévention du radon dans les bâtiments en construction et des mesures d'atténuation du radon dans les bâtiments existants. Les mesurages du radon sont nécessaires, car les codes du bâtiment ne peuvent à eux seuls garantir que les concentrations de radon sont inférieures au niveau de référence.

L'activité volumique du radon-222 dans l'atmosphère peut être mesurée par des méthodes de mesure ponctuelle, en continu et intégrée avec prélèvement d'air actif ou passif (voir ISO 11665-1). Le présent document traite des méthodes de mesure intégrée du radon-222 avec prélèvement passif.

NOTE L'origine du radon-222 et de ses descendants à vie courte dans l'environnement atmosphérique, ainsi que d'autres méthodes de mesure, sont décrites de manière générale dans l'ISO 11665-1.



# Mesurage de la radioactivité dans l'environnement — Air: radon 222 —

## Partie 4:

## Méthode de mesure intégrée pour la détermination de l'activité volumique moyenne du radon avec un prélèvement passif et une analyse en différé

### 1 Domaine d'application

Le présent document décrit les méthodes de mesure intégrée du radon-222 avec prélèvement passif. Elle fournit des indications pour déterminer l'activité volumique moyenne du radon-222 dans l'air à partir de mesurages effectués par prélèvement passif, de mise en œuvre facile peu coûteuse, ainsi que sur les conditions d'utilisation des capteurs.

Le présent document traite des échantillons prélevés sans interruption sur des périodes allant de quelques semaines à un an.

Cette méthode de mesure s'applique aux échantillons d'air dont l'activité volumique du radon est supérieure à 5 Bq/m<sup>3</sup>.

### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 11665-1, *Mesurage de la radioactivité dans l'environnement — Air: radon 222 — Partie 1: Origine du radon et de ses descendants à vie courte, et méthodes de mesure associées*

ISO 11929 (toutes les parties), *Détermination des limites caractéristiques (seuil de décision, limite de détection et extrémités de l'intervalle de confiance) pour mesurages de rayonnements ionisants — Principes fondamentaux et applications*

Guide ISO/IEC 98-3, *Incertitude de mesure — Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

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

IEC 61577-1, *Instrumentation pour la radioprotection — Instruments de mesure du radon et des descendants du radon — Partie 1: Règles générales*

### 3 Termes, définitions et symboles

#### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 11665-1 s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>;
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>.

### 3.2 Symboles

Pour les besoins du présent document, les symboles décrits dans l'ISO 11665-1 et les suivants s'appliquent.

|                          |   |
|--------------------------|---|
| $\bar{C}$                | activité volumique moyenne, en becquerels par mètre cube  |
| $\bar{C}^*$              | seuil de décision de l'activité volumique moyenne, en becquerels par mètre cube                         |
| $\bar{C}^\#$             | limite de détection de l'activité volumique moyenne, en becquerels par mètre cube                       |
| $\bar{C}^\Delta$         | limite basse de l'intervalle de confiance de l'activité volumique moyenne, en becquerels par mètre cube |
| $\bar{C}^\triangleright$ | limite haute de l'intervalle de confiance de l'activité volumique moyenne, en becquerels par mètre cube |
| $t$                      | durée de prélèvement, en heures   |
| $U$                      | incertitude élargie calculée par $U = k \cdot u(\ )$ avec $k = 2$                                       |
| $u(\ )$                  | incertitude-type associée au résultat de mesure   |
| $u_{\text{rel}}(\ )$     | incertitude-type relative   |
| $\mu$                    | quantité à mesurer  |
| $\mu_0$                  | niveau de bruit de fond   |
| $\omega$                 | facteur de correction lié au facteur d'étalonnage et à la durée du prélèvement                          |

## 4 Principe

Le mesurage intégré de l'activité volumique moyenne du radon est fondé sur les éléments suivants:

- le prélèvement passif ininterrompu d'un échantillon d'air représentatif de l'atmosphère étudiée, par convection libre et par diffusion naturelle dans le cas d'un détecteur en configuration ouverte (à l'air libre) ou par diffusion naturelle dans le cas d'un détecteur en configuration fermée (avec une chambre d'accumulation);
- l'accumulation simultanée d'une grandeur physique mesurable (traces révélées, chute de potentiel électrostatique, atomes radioactifs, etc.) sur un capteur approprié;
- le mesurage de la grandeur physique cumulée ayant un lien direct avec l'activité volumique moyenne du radon sur la durée de prélèvement concernée.



Plusieurs méthodes de mesure satisfont aux exigences du présent document. Elles se distinguent essentiellement par la nature de la grandeur physique cumulée et la manière dont elle est mesurée. Cette grandeur physique et son mesurage associé peuvent être, par exemple:

- des «traces latentes» produites dans un polymère (détecteur solide de traces nucléaires [DSTN]) par ionisation par les particules alpha du radon et de ses descendants; ces traces latentes sont détectées et comptées (voir [Annexe A](#));
- des charges produites dans un solide (milieu semi-conducteur [silicium]) par ionisation par les particules alpha du radon et de ses descendants; elles sont détectées par des circuits électroniques correspondants;
- la décharge d'un électret (élément chargé positivement et non rechargeable) par ionisation de l'air due à la désintégration radioactive du radon et de ses descendants; la chute de potentiel correspondant à cette décharge est mesurée (voir [Annexe B](#));
- les atomes de  $^{222}\text{Rn}$  adsorbés sur du charbon; les taux d'émissions gamma des descendants  $^{214}\text{Pb}$  et  $^{214}\text{Bi}$  sont mesurés avec un spectromètre gamma (voir [Annexe C](#)).

L'analyse de la grandeur physique peut ne pas être immédiate et nécessiter des opérations effectuées en laboratoire.

Le résultat de la mesure intégrée est l'exposition d'un capteur au radon pendant la durée de prélèvement considérée. L'activité volumique moyenne du radon est calculée en divisant le résultat de l'exposition par la durée du prélèvement.

## 5 Équipement

L'appareillage doit inclure les éléments suivants:

- a) un capteur qui collecte la grandeur physique (DSTN, détecteur au silicium, détecteur à électret, charbon actif, etc.), associé ou non avec une chambre d'accumulation en matériau plastique conducteur et de volume de détection connu; dans une configuration fermée, le capteur est placé dans une chambre d'accumulation fermée avec un filtre et dans une configuration ouverte, le capteur est en contact direct avec l'atmosphère (pas de chambre d'accumulation);
- b) un système de détection adapté pour la grandeur physique accumulée.

L'équipement nécessaire pour chaque méthode de mesure est décrit dans les [Annexes A](#), [B](#) et [C](#), respectivement.

## 6 Prélèvement

### 6.1 Objectif du prélèvement

L'objectif du prélèvement est de mettre en contact le capteur (DSTN, détecteur au silicium, détecteur à électret, charbon actif, etc.) dans l'espace normalement occupé par le milieu atmosphérique étudié.

### 6.2 Caractéristiques du prélèvement

Le prélèvement est passif.

Dans le cas d'une configuration fermée, le prélèvement est effectué à travers un milieu filtrant, ainsi seules les particules alpha du radon sont détectées par le capteur (voir [Article 5](#)). Le prélèvement doit être effectué dans des conditions n'induisant pas de colmatage du milieu filtrant, ce qui conduirait à une modification des conditions de mesure. En cas de colmatage pendant le prélèvement, l'air dans la chambre d'accumulation risque de ne pas pouvoir se renouveler.

Dans le cas d'une configuration ouverte, le capteur enregistre simultanément les émissions alpha du radon et de ses descendants à proximité de sa surface. Il enregistre également tout émetteur alpha présent dans l'atmosphère analysée dans la gamme d'énergie spécifiée par le fabricant. Cette configuration doit être utilisée dans des conditions n'induisant pas d'encrassement (atmosphère chargée de poussières, dépôts de graisse, etc.) du capteur qui conduirait à une modification des conditions de mesure.

## 6.3 Conditions de prélèvement

### 6.3.1 Généralités

Le prélèvement doit être effectué comme spécifié dans l'ISO 11665-1.

### 6.3.2 Installation du capteur

L'installation du capteur doit être effectuée comme spécifié dans l'ISO 11665-1.

Dans le cas spécifique du mesurage à l'intérieur d'un bâtiment, il convient de placer le capteur dans une zone normalement occupée, ou pouvant être occupée, sur une surface dégagée entre 1 m et 2 m au-dessus du sol, c'est-à-dire la «zone respiratoire» et dans les conditions suivantes:

- a) il convient de laisser un espace dégagé dans un rayon minimal de 20 cm autour du capteur pour éviter l'influence de l'exhalation de thoron des murs;
- b) il convient d'éloigner le capteur des sources de chaleur (radiateur, cheminée, équipement électrique, télévision, rayonnement solaire direct, etc.) ou des zones de passage, des portes et fenêtres, des murs et des sources de ventilation naturelles;
- c) il convient que les conditions d'installation ne soient pas perturbées pendant le mesurage (chute de livres, travaux, curiosité, etc.); il convient de donner des recommandations aux occupants afin d'éviter toute modification des conditions de prélèvement;
- d) il convient de protéger le capteur pendant le mesurage afin d'éviter tout dommage.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9fee64ff-a0eb-45bf-9468-919b66b18cdb/iso-11665-4-2020>

### 6.3.3 Durée du prélèvement

La durée du prélèvement est égale à l'intervalle de temps entre la pose et la dépose du capteur au point de prélèvement.

Les moments de pose et de dépose du capteur doivent être consignés (date et heure).

La durée du prélèvement doit être ajustée en fonction du phénomène étudié, de la radioactivité présumée et des caractéristiques du capteur (voir [Tableau 1](#)).

**Tableau 1 — Exemples de caractéristiques de prélèvement des différentes méthodes de mesure qui satisfont aux exigences du présent document**

| Capteur   | Annexe (normative) | Point de prélèvement   | Durée du prélèvement/durée d'exposition |
|---|--------------------|------------------------|---|
| Détecteur solide de traces nucléaires (configuration ouverte) | A                  | Intérieur              | Une semaine à plusieurs mois            |
| Détecteur solide de traces nucléaires (configuration fermée)  |                    | Extérieur ou intérieur |   |
| Détecteur à électret  | B                  |                        | Quelques jours à plusieurs mois         |
| Charbon actif   | C                  |                        | Quelques jours                          |

La durée du prélèvement doit être déterminée sur la base de l'utilisation prévue des résultats de mesures.

À titre d'exemple, les concentrations à l'intérieur d'un bâtiment varient non seulement au cours d'une journée, mais également d'un jour à l'autre en raison des variations du mode d'occupation. Dans ce cas, il est recommandé d'effectuer le prélèvement sur une semaine complète afin d'inclure ces variations.

Afin d'approcher la valeur moyenne annuelle de l'activité volumique du radon dans les bâtiments et ne pas la sous-évaluer, il est recommandé d'effectuer les mesurages pendant au moins deux mois (voir ISO 11665-8).

Il convient que les utilisateurs connaissent les caractéristiques de leurs capteurs et il convient qu'ils adaptent la durée du prélèvement de manière à éviter tout risque de saturation.

#### 6.3.4 Volume d'air prélevé

Le mesurage direct du volume d'air prélevé n'est pas nécessaire pour le prélèvement passif, car un facteur d'étalonnage, en activité par unité de volume, doit être utilisé.

## 7 Détection

Suivant le capteur utilisé, la détection doit être effectuée en utilisant des détecteurs solides de traces nucléaires (DSTN), la décharge de la surface polarisée à l'intérieur d'une chambre d'ionisation, la spectrométrie gamma et la scintillation liquide conformément à l'ISO 11665-1.

## 8 Mesurage

### 8.1 Mode opératoire

Le mode opératoire de mesurage pour chaque méthode de mesure doit être comme spécifié dans les [Annexes A, B et C](#), respectivement.

### 8.2 Grandeurs d'influence

Différentes grandeurs peuvent influencer le mesurage au point de donner lieu à des résultats non représentatifs. Suivant la méthode de mesure et la maîtrise des grandeurs d'influence habituelles citées dans l'IEC 61577-1 et l'ISO 11665-1, les grandeurs d'influence qui sont particulièrement importantes pour chaque méthode de mesure décrite dans le présent document sont décrites dans les [Annexes A, B et C](#), respectivement.

Les recommandations données par le fabricant dans les notices d'utilisation des capteurs doivent être respectées.

### 8.3 Étalonnage

Le système de mesure (capteur et système de détection) doit être étalonné une fois par an tel que spécifié dans l'ISO 11665-1. Les exigences supplémentaires applicables aux dispositifs utilisés pour chacune des méthodes sont spécifiées dans les annexes concernées (voir [Annexes A, B et C](#)).

La relation entre la grandeur physique enregistrée par le capteur (nombre de traces révélées, nombre de charges électriques, comptage des impulsions et amplitudes, etc.) et l'activité volumique du radon dans l'air doit être établie en utilisant une atmosphère de référence contenant du radon-222. L'activité volumique du radon-222 dans l'atmosphère de référence doit être traçable par rapport à un étalon de gaz radon-222 primaire.

En plus de l'étalonnage, il convient d'envisager des essais réguliers pour s'assurer que les mesurages restent utilisables. Il convient de prévoir des essais en aveugle internes et des comparaisons externes de compétence, de validation ou interlaboratoires.