
**Mesurage de la radioactivité dans
l'environnement — Sol —**

Partie 7:
**Mesurage in situ des radionucléides
émetteurs gamma**

iTeh STANDARD PREVIEW
Measurement of radioactivity in the environment — Soil —
Part 7: In situ measurement of gamma-emitting radionuclides
(standards.iteh.ai)

[ISO 18589-7:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1721feaf-eebc-4abf-83c7-03dce6e6cc60/iso-18589-7-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1721feaf-eebc-4abf-83c7-03dce6e6cc60/iso-18589-7-2013>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 18589-7:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1721feaf-eebc-4abf-83c7-03dce6e6cc60/iso-18589-7-2013>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2013

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées 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 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
Introduction.....	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes, définitions, symboles et unités	2
3.1 Termes et définitions.....	2
3.2 Symboles et unités.....	4
4 Principes	6
4.1 Méthode de mesure.....	6
4.2 Incertitudes de la méthode de mesure.....	7
5 Équipement	7
5.1 Système portable de spectrométrie <i>in situ</i>	7
5.2 Système détecteur.....	8
5.3 Électronique de traitement des impulsions.....	9
5.4 Bâti de montage pour un système détecteur.....	10
5.5 Détecteur collimaté.....	10
6 Mode opératoire	12
6.1 Étalonnage.....	12
6.2 Méthode des étalonnages combinés.....	13
7 Programme d'assurance qualité et de contrôle qualité	18
7.1 Généralités.....	18
7.2 Variables d'influence.....	18
7.3 Vérification des instruments.....	18
7.4 Vérification de la méthode.....	18
7.5 Programme de contrôle qualité.....	18
7.6 Mode opératoire normalisé.....	20
8 Expression des résultats	20
8.1 Calcul de l'activité surfacique ou massique.....	20
8.2 Calcul des limites caractéristiques et de la meilleure estimation du mesurande ainsi que son incertitude-type.....	20
8.3 Calcul du débit de dose ambiant spécifique à un radionucléide.....	22
9 Rapport d'essai	24
Annexe A (informative) Influence des radionucléides présents dans l'air sur le résultat d'activité surfacique ou massique, mesurée par spectrométrie gamma <i>in situ</i>	25
Annexe B (informative) Grandeurs d'influence	26
Annexe C (informative) Caractéristiques des détecteurs au germanium	29
Annexe D (informative) Champ de vision d'un spectromètre gamma <i>in situ</i> en fonction de l'énergie photonique pour différentes répartitions des radionucléides dans le sol	31
Annexe E (informative) Méthodes de calcul des facteurs géométriques et des facteurs de correction angulaire	36
Annexe F (informative) Exemple de calcul des limites caractéristiques ainsi que de la meilleure estimation du mesurande et de son incertitude-type	45
Annexe G (informative) Facteurs de conversion de l'activité surfacique ou massique en débit de kerma dans l'air et débit d'équivalent de dose ambiant pour différentes répartitions des radionucléides dans le sol	50
Annexe H (informative) Facteurs d'atténuation massique pour le sol et facteurs d'atténuation pour l'air en fonction de l'énergie photonique et de l'écart de $G(E,V)$ pour différentes	

compositions du sol	57
Bibliographie	59

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 18589-7:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1721feaf-eebc-4abf-83c7-03dce6e6cc60/iso-18589-7-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1721feaf-eebc-4abf-83c7-03dce6e6cc60/iso-18589-7-2013>

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 (CEI) 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/CEI, 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/CEI, Partie 2, www.iso.org/directives.

L'attention est appelée 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 sur la liste ISO des déclarations de brevets reçues, www.iso.org/patents.

Les éventuelles appellations commerciales utilisées dans le présent document sont données pour information à l'intention des utilisateurs et ne constituent pas une approbation ou une recommandation.

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 85, *Énergie nucléaire, technologies nucléaires, et radioprotection*, sous-comité SC 2, *Radioprotection*.

L'ISO 18589 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Mesurage de la radioactivité dans l'environnement — Sol*:

- *Partie 1: Lignes directrices générales et définitions*
- *Partie 2: Lignes directrices pour la sélection de la stratégie d'échantillonnage, l'échantillonnage et le prétraitement des échantillons*
- *Partie 3: Mesurage des radionucléides émetteurs gamma*
- *Partie 4: Mesurage des isotopes du plutonium (plutonium 238 et plutonium 239 + 240) par spectrométrie alpha*
- *Partie 5: Mesurage du strontium 90*
- *Partie 6: Mesurage des activités alpha globale et bêta globale*
- *Partie 7: Mesurage in situ des radionucléides émetteurs gamma*

Introduction

La spectrométrie gamma *in situ* est une technique rapide et précise pour évaluer la concentration de l'activité des radionucléides émetteurs gamma présents dans la couche supérieure ou déposés à la surface du sol. Cette méthode est également utilisée pour évaluer les débits de dose associés de radionucléides individuels.

La spectrométrie gamma *in situ* est un mesurage physique direct de la radioactivité qui ne nécessite aucun prélèvement d'échantillon de sol, diminuant ainsi la durée et le coût des analyses de laboratoire d'un grand nombre d'échantillons.

L'analyse quantitative des spectres en énergie enregistrés exige une zone appropriée pour le mesurage. En outre, il est nécessaire de connaître les propriétés physico-chimiques du sol et la répartition verticale des radionucléides dans le sol pour évaluer l'activité des radionucléides.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 18589-7:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1721feaF-eebc-4abf-83c7-03dce6e6cc60/iso-18589-7-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1721feaF-eebc-4abf-83c7-03dce6e6cc60/iso-18589-7-2013>

Mesurage de la radioactivité dans l'environnement — Sol —

Partie 7:

Mesurage in situ des radionucléides émetteurs gamma

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 18589 spécifie l'identification des radionucléides et la quantification de leur activité dans le sol en utilisant la spectrométrie gamma *in situ* avec des systèmes portatifs équipés de détecteurs au germanium ou à scintillations.

La présente partie de l'ISO 18589 est adaptée pour évaluer rapidement l'activité des radionucléides artificiels et naturels déposés ou présents dans des couches du sol d'un site soumis à l'étude.

La présente partie de l'ISO 18589 peut être utilisée en relation avec les mesurages de radionucléides des échantillons de sol au laboratoire [ISO 18589-3] dans les cas suivants pour:

- la surveillance en routine de l'impact de la radioactivité émanant d'installations nucléaires ou de l'évolution de la radioactivité du territoire,
- les investigations en situations d'accidents et d'incidents,
- la planification et la surveillance des actions de remédiation, et
- le déclassement d'installations ou l'élimination de matières nucléaires.

Elle peut également être utilisée pour identifier les radionucléides artificiels dans l'air, lors de l'évaluation des niveaux d'exposition à l'intérieur de bâtiments ou au cours des opérations d'élimination de déchets.

À la suite d'un accident nucléaire, la spectrométrie gamma *in situ* est une puissante méthode pour une évaluation rapide de l'activité gamma déposée sur la surface du sol ainsi que la contamination superficielle d'objets plats.

NOTE La méthode décrite dans la présente partie de l'ISO 18589 n'est pas appropriée lorsque la répartition spatiale des radionucléides dans l'environnement n'est pas connue précisément (grandeurs d'influence, répartition inconnue dans le sol) ou en cas d'un flux très élevé de photons.

2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

CEI 61275, *Instrumentation pour la radioprotection — Analyse des radionucléides discrets présents dans l'environnement — Système de spectrométrie gamma in situ utilisant un détecteur au germanium*

ISO 11929, *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*

3 Termes, définitions, symboles et unités

3.1 Termes et définitions

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

3.1.1

rendement intrinsèque

η_0

section efficace d'un détecteur de photons dans la direction de l'axe de symétrie du cristal

Note 1 à l'article: Le rendement intrinsèque dépend de l'énergie du photon.

3.1.2

rendement de détecteur

$\eta_0(E)$

rendement du détecteur dans la direction de l'axe de symétrie du cristal en fonction de l'énergie photonique E

3.1.3

hauteur de détecteur

d

distance entre le centre géométrique du cristal et la surface du sol

3.1.4

rendement surfacique ou massif

ε

rapport entre le taux de comptage net, d'une raie d'absorption totale à l'énergie E , et l'intensité de la source de photons de l'aire de la surface et/ou de la masse d'intérêt

[ISO 18589-7:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1721feaf-eebc-4abf-83c7-03dce6e6cc60/iso-18589-7-2013)

3.1.5

rendement de détection relatif

rapport, exprimé en pourcentage, du taux de comptage dans la raie d'absorption totale du ^{60}Co à 1 333 keV sur celui obtenu avec un scintillateur NaI(Tl) de 7,5 cm x 7,5 cm pour une incidence normale et à 0,25 m de la source

3.1.6

facteur géométrique

G

rapport entre la densité de flux, des photons non diffusés, mesurée à l'emplacement du détecteur et l'intensité surfacique et/ou massive d'intérêt de la source de photons

3.1.7

angle d'ouverture de collimateur

ϑ_{col}

caractéristique angulaire pour un spectromètre gamma *in situ* équipé d'un collimateur

3.1.8

masse de relaxation surfacique^[Z]

β

paramètre mathématique décrivant la répartition des radionucléides en fonction de la profondeur du sol; elle indique la masse surfacique du sol à laquelle l'activité gamma décroît à 1/e (37 %)

3.1.9

champ de vision d'un détecteur

aire de la surface de sol qui est à l'origine de 90 % des photons, non diffusés détectés, générés par le ^{137}Cs (661,6 keV)

3.1.10 modèle de répartition

V

entité de tous les paramètres physiques et géométriques pour décrire la répartition des radionucléides dans l'environnement ainsi que l'interaction d'un photon émis avec le sol et l'air

3.1.11 coefficient angulaire

k_m

facteur prenant en compte la réponse angulaire du détecteur et la répartition angulaire du flux incident

3.1.12 zone de mesure

zone dans le sol et/ou à la surface du sol qui est supposée avoir, pour un radionucléide donné, une activité surfacique ou massique uniforme

3.1.13 masse surfacique (collimateur)^[7]

ζ_{col}

produit de la masse volumique du matériau et de l'épaisseur de paroi d'un collimateur. La masse surfacique est donnée pour un angle polaire ϑ de 90° par rapport au centre du cristal

3.1.14 section efficace du détecteur

rapport du taux net de la raie d'absorption totale à l'énergie E et de la densité de flux des photons non diffusés d'énergie E dans le détecteur

3.1.15 facteur surfacique ou massique d'étalonnage

w

rapport de l'activité surfacique ou massique du radionucléide sur le taux de comptage net de la raie d'absorption totale

3.2 Symboles et unités

Pour les besoins de la présente norme, les symboles et unités définis dans l'ISO 11929 s'appliquent.

Tableau 1 — Symboles

Symboles	Désignation	Unité
a	Activité d'un radionucléide donné au moment du mesurage a) surfacique b) massique	Bq·m ⁻² Bq·kg ⁻¹
\hat{a}	Meilleure estimation du mesurande de l'activité du radionucléide donné a) surfacique b) massique	Bq·m ⁻² Bq·kg ⁻¹
a_K	Activité de l'étalon au moment du mesurage	Bq
a_0	Activité, du radionucléide donné, à la surface du sol	Bq·m ⁻²
$a(\zeta)$	Activité de surface projetée en fonction de la masse surfacique en surface du sol	Bq·m ⁻²
a^*	Seuil de décision du mesurande du radionucléide donné au moment du mesurage a) surfacique b) massique	Bq·m ⁻² Bq·kg ⁻¹
$a^\#$	Limite de détection du mesurande du radionucléide donné au moment du mesurage a) surfacique b) massique	Bq·m ⁻² Bq·kg ⁻¹
$a^\triangleright, a^\triangleleft$	Limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance du mesurande du radionucléide donné au moment du mesurage a) surfacique b) massique	Bq·m ⁻² Bq·kg ⁻¹
c_0, c_1, c_2	Grandeurs pour déterminer le seuil de décision et la limite de détection	—
d	Distance entre la source d'étalonnage et le centre géométrique du cristal	m
\bullet D	Débit de dose ambiant comme débit de kerma dans l'air	Gy·h ⁻¹
E	Energie photonique	keV
E_1	Fonction exponentielle intégrale du premier ordre $E_1(\alpha) = \int_1^\infty \frac{e^{-\alpha x}}{x} dx$	—
E_2	Fonction exponentielle intégrale du second ordre $E_2(\alpha) = \int_1^\infty \frac{e^{-\alpha x}}{x^2} dx$	—
f_d	Facteur de décroissance	—
f_D	Facteur de conversion de l'activité d'un radionucléide en débit de dose ambiant comme débit de kerma dans l'air	—

Tableau 1 (suite)

Symboles	Désignation	Unité
	a) surfacique b) massique	Gy·m ⁻² ·h ⁻¹ ·Bq ⁻¹ Gy·kg ⁻¹ ·h ⁻¹ ·Bq ⁻¹
$f_{H^*(10)}$	Facteur de conversion de l'activité d'un radionucléide en débit d'équivalent de dose ambiant a) surfacique b) massique	Sv·m ⁻² ·h ⁻¹ ·Bq ⁻¹ Sv·kg ⁻¹ ·h ⁻¹ ·Bq ⁻¹
G	Facteur géométrique a) surfacique b) massique	— kg·m ⁻²
$G(E, V)$	Fonction géométrique d'énergie photonique E et de répartition V: a) surfacique b) massique	— kg·m ⁻²
$\dot{H}^*(10)$	Débit d'équivalent de dose en un point d'un champ de rayonnement, qui serait produit par le champ unidirectionnel et expansé correspondant dans la sphère ICRU à une profondeur, d (ici 10 mm), sur le rayon qui fait face à la direction du champ unidirectionnel.	Sv·h ⁻¹
$k, k_{1-\alpha}, k_{1-\beta}, k_{1-\gamma/2}$	Quantiles de la distribution normale normalisée	—
k_m	Coefficient angulaire pour le rayonnement de photon à partir du segment angulaire polaire m	—
M	Nombre de segments angulaires polaires	—
m	Indice pour segment angulaire polaire	—
n_g	Nombre total de coups de la raie d'absorption totale	—
n_b	Nombre de coups de bruit de fond (dans la région de la raie d'absorption totale)	—
n_n	Nombre net de coups dans la raie d'absorption totale	—
p	Probabilité d'émission par désintégration pour l'énergie photonique E considérée	—
R	Rayon du modèle de répartition	m
R_s	Rayon du champ de vision	m
$u(x_i)$	Incertitude-type de la grandeur d'entrée x_i	L'unité résulte de la grandeur d'entrée.
$u_{rel}^2(x_i)$	Variance relative de la grandeur d'entrée x_i	L'unité résulte de la grandeur d'entrée.
t	Durée de mesurage	s
V	Modèle de répartition	—
W	Facteur de correction angulaire	—
w	Facteur d'étalonnage pour calculer l'activité surfacique ou massique du radionucléide donné	m ⁻² ou kg ⁻¹

Tableau 1 (suite)

Symboles	Désignation	Unité
w_h	Facteur d'étalonnage pour calculer le débit d'équivalent de dose ambiant spécifique à un radionucléide	—
ζ	Masse surfacique	kg · m ⁻²
z	Profondeur du sol	m
z	Variable d'intégration de la profondeur de sol	—
ϑ	Angle polaire	Degré
ε	Rendement du détecteur a) surfacique b) massique	m ² kg
η_m	Section efficace du détecteur pour le segment polaire m	m ²
η_0	Rendement intrinsèque	m ²
ϑ_{ext}	Angle polaire externe du segment angulaire d'intérêt	Degré
ϑ_{lim}	Angle limite du modèle de répartition	Degré
ϑ_{int}	Angle polaire interne du segment angulaire d'intérêt	Degré
ϑ_{col}	Angle d'ouverture du spectromètre collimaté	Degré
μ_{Air}	Coefficient d'affaiblissement linéique de l'air	m ⁻¹
μ_s / ρ_s	Coefficient d'atténuation massique du sol	m ² ·kg ⁻¹
$\rho_s(z)$	Masse volumique du sol en fonction de la profondeur du sol z	kg·m ⁻³
Φ	Densité de flux de photons non diffusés d'énergie E pour la répartition V à l'emplacement du détecteur	s ⁻¹ ·m ⁻²
$\left(\frac{\Delta\Phi_m}{\Phi} \right)_{E,V}$	Portion de la densité de flux des photons non diffusés d'énergie E résultant du segment d'angle polaire m pour la répartition V à l'emplacement du détecteur	—
β	Masse de relaxation surfacique	kg·m ⁻²

4 Principes

4.1 Méthode de mesure

La spectrométrie gamma *in situ* est une méthode physique directe pour la détermination rapide de l'activité surfacique ou massique des radionucléides émetteurs gamma présents dans le sol ou déposés à la surface du sol.

La spectrométrie gamma *in situ* peut être considérée comme étant une méthode de tri qui peut compléter une spectrométrie gamma en laboratoire consécutive à l'échantillonnage du sol, avec les avantages suivants:

- aucun échantillonnage chronophage et aucune préparation d'échantillon pour essai ne sont nécessaires pour le laboratoire;
- courte durée de mesurage;
- disponibilité immédiate des résultats sur le terrain;

- haute représentativité des résultats pour une vaste zone en raison du large champ de vision du détecteur.

Pendant le mesurage, le détecteur est préférentiellement positionné sur un bâti de montage avec le capot de protection du détecteur face au sol.

Pour l'analyse quantitative des spectres d'amplitude d'impulsions, des hypothèses, de modèle de répartition des radionucléides dans le sol et des propriétés physiques spécifiques du sol et de l'air, sont posées.

En général, la répartition des radionucléides dans le sol n'est pas connue. Les modèles théoriques suivants sont utilisés:

- répartition homogène pour les radionucléides naturels;
- dépôt en surface sur la couche supérieure du sol, dépôt sec de retombées;
- décroissance exponentielle de la concentration d'activité avec l'augmentation de la profondeur dans le sol à la suite d'un dépôt dû aux retombées d'activité en surface et à la migration consécutive, vers le bas, dans les couches plus profondes du sol.

NOTE Pour la description de la répartition de l'activité dans le sol, ce sont surtout des modèles exponentiels simples qui sont utilisés.

Selon le modèle de répartition présumé, l'activité des radionucléides répartis de façon homogène est donnée en activité massique, alors que pour les radionucléides artificiels, qui se sont déposés à la surface puis qui ont migré dans le sol, les résultats sont consignés en activité surfacique.

4.2 Incertitudes de la méthode de mesure

Les incertitudes de la méthode de mesure sont principalement dues:

- à l'incertitude de la répartition des radionucléides à la surface et dans le sol;
- à la contribution d'autres sources (par exemple l'activité dans l'air environnant, voir l'[Annexe A](#)).

Les principales grandeurs d'influence sont énumérées dans l'[Annexe B](#) avec les valeurs numériques données dans la Référence.^[14]

5 Équipement

5.1 Système portatif de spectrométrie *in situ*

Un spectromètre gamma *in situ* est constitué de cinq principaux composants tels qu'énumérés ci-dessous:

- détecteur au germanium de haute pureté ou détecteur à scintillations;
- électronique de traitement d'impulsions;
- système d'enregistrement et d'évaluation de données;
- dispositif de fixation pour monter le détecteur (trépied);
- refroidissement et, le cas échéant, blindage.

Un système portatif de spectrométrie *in situ* est recommandé. Il est constitué d'un dispositif de refroidissement portatif et d'une électronique (cette dernière comprenant un système d'analyseur multicanaux (Multi Channel Analyzer (MCA)) avec une unité de traitement d'impulsions et une alimentation haute tension intégrée. De nos jours, le traitement des impulsions est préférentiellement numérique. Les données peuvent être transférées par des moyens de télécommunications, par exemple: par câble, par ondes radioélectriques ou par satellite. Les données spectrales sont transférées par câble, réseau local sans fil (WLAN) ou par radiocommunications vers un PC et mémorisées sur disque dur ou supports de mémorisation numériques (par exemple support de stockage amovible de données, cartes mémoire).

Sachant qu'en général, il n'y a pas d'alimentation électrique au cours des mesurages sur le terrain, il est utile de munir l'équipement de mesure de batteries internes pour un fonctionnement autonome.

5.2 Système détecteur

5.2.1 Généralités

Le système au germanium de haute pureté (High Purity Germanium System (HPGe System)) est décrit dans l'ISO 18589-3 et dans la CEI 61275. En fonction des objectifs du mesurage, deux types différents de cristaux de germanium (type n, type p) peuvent être utilisés. Ils peuvent être construits avec différentes sortes de formes, de montages de cristal, de matériaux du capot de protection du détecteur et de la fenêtre d'entrée du rayonnement à son extrémité. Les caractéristiques du détecteur définissent également la plage de mesurage, tant en termes d'énergies gamma qu'en termes de taux de comptage. Un résumé des spécifications est donné dans l'[Annexe C](#).

Cependant, il faut souligner que les détecteurs capables de mesurer à de très bas niveaux d'énergie (comme les détecteurs de type n ou les détecteurs dont le capot de protection est réalisé en matériaux spéciaux) ne sont pas très utiles pour les mesurages *in situ*. Cela est dû à la fragilité du détecteur et aux incertitudes élevées des activités mesurées dues à la forte absorption du rayonnement gamma dans l'air et dans le sol.

Pour des applications générales, telles que la détermination de la concentration d'activité d'un matériau radioactif existant à l'état naturel (Naturally Occurring Radioactive Material (NORM)) dans le sol, ou la contamination du sol par des radionucléides artificiels, il convient d'utiliser des détecteurs au germanium ayant un rendement de détection relatif de 20 % à 50 % et une plage d'énergie supérieure à 50 keV.

Il convient d'utiliser des détecteurs qui ont une fonction réponse isotropique, c'est-à-dire des détecteurs ayant une dépendance faible ou nulle vis-à-vis de la direction des photons incidents. Tel est le cas si, en raison de sa hauteur et de son diamètre, le cristal du détecteur a une longueur presque égale à l'épaisseur (hauteur contre diamètre).

NOTE Pour des détecteurs ayant une forte dépendance vis-à-vis de la direction, il est préférable d'utiliser des méthodes mathématiques pour simuler le rendement du détecteur, car cette dépendance est intrinsèquement prise en compte. Ces détecteurs sont avantageux lorsqu'un champ de vision limité est requis.

Dans certaines conditions, notamment si aucune haute précision n'est exigée, des détecteurs à scintillations (NaI(Tl), LaBr₃) peuvent être utilisés. Dans ce cas, aucun refroidissement n'est nécessaire, mais le seuil de décision et la limite de détection des nucléides sont plus élevés en raison de la moins bonne résolution en énergie.

5.2.2 Champ de vision

Le champ de vision du détecteur correspond à l'aire de la surface de sol, qui est l'origine de 90 % des photons non diffusés détectés de ¹³⁷Cs (661,6 keV). Cette aire dépend des caractéristiques du détecteur, de la hauteur de mesurage, de l'énergie gamma et de la répartition du radionucléide d'intérêt dans le sol. Le champ de vision est toujours calculé pour une aire de mesurage infinie.

5.2.3 Exigences spéciales

Le système de détection doit être conforme aux exigences spéciales relatives aux mesurages *in situ* selon la CEI 61275. Plus précisément, les points suivants doivent être pris en considération:

- a) le système doit être étanche à l'humidité et aux projections d'eau. Cela est particulièrement vrai pour tous les raccordements mécaniques et électriques entre le préamplificateur et l'analyseur multicanaux;
- b) le cristal doit être monté dans le capot de protection du détecteur de telle façon que les contraintes mécaniques dues au transport ne se traduisent pas par un endommagement du détecteur. Cela peut vouloir dire que des conteneurs de transport spéciaux doivent être utilisés;

- c) la température de fonctionnement pour le détecteur doit se situer dans la plage comprise entre - 20°C et +50 °C (des températures plus élevées au niveau du capot de protection du détecteur peuvent donner lieu à un vide de moindre qualité dans le capot.);
- d) la capacité du système de refroidissement doit être suffisante pour toute la durée de mesurage. En cas de perte de refroidissement (par exemple si le Dewar d'azote liquide se vide), le temps de recyclage du détecteur tel que spécifié par le fournisseur doit être pris en compte.

NOTE 1 Si le détecteur est refroidi à l'azote liquide, les activités de transport entraînent une consommation plus élevée d'azote.

NOTE 2 Pour les applications normales, des matériaux de haute pureté ne sont pas indispensables pour le montage du détecteur, du capot de protection et de la fenêtre du capot.

5.3 Électronique de traitement des impulsions

5.3.1 Composants

Le système de traitement des impulsions est constitué des composants suivants:

- alimentation haute tension du détecteur;
- amplificateur de spectroscopie;
- convertisseur analogique-numérique (A/N);
- analyseur à canaux multiples (MCA).

Les dernières versions des unités électroniques du commerce utilisent une électronique numérique pour traiter les impulsions. Dans ce cas, l'amplificateur de spectroscopie et le convertisseur A/N sont remplacés par un processeur de signal numérique.

Il est fortement recommandé d'utiliser des unités intégrées de traitement des impulsions. Dans ce cas, tous les composants électroniques individuels sont intégrés dans un seul boîtier qui est lui-même relié au préamplificateur du détecteur et à un PC.

La liaison au PC peut être réalisée par un port série (câble), par USB (câble), par WLAN (sans fil) ou autres types de radiocommunications (sans fil). Il convient que le PC fonctionne sur batterie.

5.3.2 Exigences spéciales

L'électronique de traitement des impulsions doit satisfaire aux exigences spéciales suivantes relatives aux mesurages *in situ*; si aucun traitement numérique du signal n'est utilisé, il convient que le système soit stabilisé en température. Cela peut être réalisé par un stabilisateur de spectre numérique. Les processeurs de signal numérique ne sont normalement pas sensibles à la température, si bien qu'une telle stabilisation n'est pas requise.

NOTE La stabilisation peut être réalisée en utilisant la raie gamma de ^{40}K à 1 461 keV.

Il est préférable d'utiliser une électronique alimentée par batteries. Il convient que le temps de fonctionnement minimal des batteries soit de 4 h. Il convient que la commutation entre le fonctionnement sur batteries et sur secteur soit possible.

5.3.3 Exigences relatives au programme d'évaluation

Les logiciels utilisés pour l'évaluation des spectres d'un spectromètre *in situ* doivent avoir des fonctionnalités complémentaires par rapport à celles généralement utilisées dans les applications de laboratoire. Ces fonctions complémentaires peuvent être exécutées par des programmes ou modules d'extension spéciaux. Les fonctions de base suivantes doivent être disponibles:

- étalonnage en énergie et, le cas échéant, stabilisation en énergie;