

NORME INTERNATIONALE

ISO 11929-4

Troisième édition
2022-07

Détermination des limites caractéristiques (seuil de décision, limite de détection et limites de l'intervalle élargi) pour le mesurage des rayonnements ionisants — Principes fondamentaux et applications —

Partie 4: Lignes directrices relatives aux applications

*Determination of the characteristic limits (decision threshold,
detection limit and limits of the coverage interval) for measurements
of ionizing radiation — Fundamentals and application —*

Part 4: Guidelines to applications



Numéro de référence
ISO 11929-4:2022(F)

© ISO 2022

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 11929-4:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6b0aac6c-9e4f-4cea-9f54-32b6a6ec7714/iso-11929-4-2022>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2022

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
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	vii
Introduction	viii
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	2
3 Termes et définitions	3
4 Grandeurs et symboles	3
5 Résumé du présent document	5
5.1 Procédures conformes à l'ISO 11929 (toutes les parties)	5
5.2 Vue d'ensemble des exemples	5
5.3 Stipulations générales	8
6 Mesurages par comptage à incertitude faible ou modérée	9
6.1 Définition de la tâche et aspects généraux	9
6.2 Modèle d'évaluation et incertitude-type	9
6.3 Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	9
6.4 Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques conformément à l'ISO 11929-1	10
6.4.1 Comptage du bruit de fond	10
6.4.2 Résultat primaire et son incertitude-type associée	10
6.4.3 Incertitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	11
6.4.4 Seuil de décision	11
6.4.5 Limite de détection	11
6.4.6 Limites des intervalles élargis	11
6.4.7 Meilleure estimation et son incertitude-type associée	12
6.5 Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	12
6.6 Évaluation et explications	13
7 Mesurage par comptage avec un faible nombre d'impulsions	14
7.1 Définition de la tâche et aspects généraux	14
7.2 Modèle d'évaluation et incertitude-type	14
7.3 Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	15
7.4 Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques conformément à l'ISO 11929-1	15
7.4.1 Comptage du bruit de fond	15
7.4.2 Résultat primaire et son incertitude-type associée	15
7.4.3 Incertitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	16
7.4.4 Seuil de décision	16
7.4.5 Limite de détection	16
7.4.6 Limites des intervalles élargis	17
7.4.7 Meilleure estimation et son incertitude-type associée	17
7.5 Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	17
7.6 Évaluation et explications	18
7.7 Exemple alternatif de mesurage avec un faible nombre d'impulsions	19
7.7.1 Généralités	19
7.7.2 Comptage du bruit de fond	20
7.7.3 Résultat primaire et son incertitude-type associée	20
7.7.4 Incertitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	20
7.7.5 Seuil de décision	20
7.7.6 Limite de détection	21
7.7.7 Limites des intervalles élargis	21
7.7.8 Meilleure estimation et son incertitude-type associée	21
7.8 Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	21
7.9 Évaluation de l'exemple alternatif et explications	23

8	Mesurages par comptage avec des incertitudes élevées au numérateur du facteur d'étalonnage	23
8.1	Définition de la tâche et aspects généraux	23
8.2	Modèle d'évaluation et incertitude-type	23
8.3	Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	24
8.4	Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques conformément à l'ISO 11929-1	24
8.4.1	Comptage du bruit de fond	24
8.4.2	Résultat primaire et son incertitude-type associée	25
8.4.3	Incertitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	25
8.4.4	Seuil de décision	25
8.4.5	Limite de détection	25
8.4.6	Limites des intervalles élargis	26
8.4.7	Meilleure estimation et son incertitude-type associée	26
8.5	Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	26
8.6	Évaluation et explications	27
9	Mesurages par comptage avec des incertitudes élevées au dénominateur du facteur d'étalonnage	28
9.1	Définition de la tâche et aspects généraux	28
9.2	Modèle d'évaluation et incertitude-type	28
9.3	Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	28
9.4	Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques conformément à l'ISO 11929-1	29
9.4.1	Comptage du bruit de fond	29
9.4.2	Résultat primaire et son incertitude-type associée	30
9.4.3	Incertitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	30
9.4.4	Seuil de décision	30
9.4.5	Limite de détection	30
9.4.6	Limites des intervalles élargis	31
9.4.7	Meilleure estimation et son incertitude-type associée	31
9.5	Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	31
9.6	Évaluation et explications	32
10	Mesurages par comptage avec effet d'écran du bruit de fond	33
10.1	Définition de la tâche et aspects généraux	33
10.2	Modèle d'évaluation et incertitude-type	33
10.3	Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	33
10.4	Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques conformément à l'ISO 11929-1	34
10.4.1	Comptage du bruit de fond	34
10.4.2	Résultat primaire et son incertitude-type associée	34
10.4.3	Incertitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	34
10.4.4	Seuil de décision	35
10.4.5	Limite de détection	35
10.4.6	Limites des intervalles élargis	35
10.4.7	Meilleure estimation et son incertitude-type associée	35
10.5	Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	35
10.6	Évaluation et explications	37
11	Mesurage de dédouanement par comptage	37
11.1	Définition de la tâche et aspects généraux	37
11.2	Modèle d'évaluation et incertitude-type	38
11.3	Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	38
11.4	Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques conformément à l'ISO 11929-1	39
11.4.1	Comptage du bruit de fond	39
11.4.2	Résultat primaire et son incertitude-type associée	39
11.4.3	Incertitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	39
11.4.4	Seuil de décision	40

11.4.5	Limite de détection	40
11.4.6	Limites des intervalles élargis	40
11.4.7	Meilleure estimation et son incertitude-type associée	41
11.5	Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	41
11.6	Évaluation et explications	42
12	Spectrométrie gamma de l'uranium 235 avec interférence du radium 226	43
12.1	Définition de la tâche et aspects généraux	43
12.2	Modèle d'évaluation et incertitude-type	44
12.3	Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	45
12.4	Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques conformément à l'ISO 11929-1	46
12.4.1	Comptage du bruit de fond	46
12.4.2	Résultat primaire et son incertitude-type associée	46
12.4.3	Incetitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	47
12.4.4	Seuil de décision	48
12.4.5	Limite de détection	48
12.4.6	Limites des intervalles élargis	48
12.4.7	Meilleure estimation et son incertitude-type associée	49
12.5	Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	49
12.6	Évaluation et explications	50
13	Mesurages de type «boîte noire»	51
13.1	Définition de la tâche et aspects généraux	51
13.2	Modèle d'évaluation et incertitude-type	51
13.3	Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	52
13.4	Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques conformément à l'ISO 11929-1	52
13.4.1	Comptage du bruit de fond	52
13.4.2	Résultat primaire et son incertitude-type associée	53
13.4.3	Incetitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	53
13.4.4	Seuil de décision	53
13.4.5	Limite de détection	54
13.4.6	Limites des intervalles élargis	54
13.4.7	Meilleure estimation et son incertitude-type associée	54
13.5	Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	54
13.6	Évaluation et explications	56
14	Mesurages par comptage avec influence aléatoire inconnue du traitement de l'échantillon	56
14.1	Définition de la tâche et aspects généraux	56
14.2	Modèle d'évaluation et incertitude-type	56
14.3	Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	57
14.4	Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques conformément à l'ISO 11929-1	58
14.4.1	Comptage du bruit de fond	58
14.4.2	Résultat primaire et son incertitude-type associée	58
14.4.3	Incetitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	59
14.4.4	Seuil de décision	59
14.4.5	Limite de détection	59
14.4.6	Limites des intervalles élargis	59
14.4.7	Meilleure estimation et son incertitude-type associée	60
14.5	Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	60
14.6	Évaluation et explications	61
15	Mesurages par comptage avec influence connue du traitement de l'échantillon	62
15.1	Définition de la tâche et aspects généraux	62
15.2	Modèle d'évaluation et incertitude-type	62
15.3	Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	63

15.4	Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques conformément à l'ISO 11929-1	64
15.4.1	Détermination de l'incertitude relative du traitement de l'échantillon	64
15.4.2	Comptage du bruit de fond	64
15.4.3	Résultat primaire et son incertitude-type associée	64
15.4.4	Incetitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	65
15.4.5	Seuil de décision	65
15.4.6	Limite de détection	66
15.4.7	Limites des intervalles élargis	66
15.4.8	Meilleure estimation et son incertitude-type associée	66
15.5	Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	66
15.6	Évaluation et explications	68
16	Mesurage de dose avec un dosimètre individuel actif	68
16.1	Définition de la tâche et aspects généraux	68
16.2	Modèle d'évaluation et incertitude-type	68
16.3	Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	69
16.4	Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques conformément à l'ISO 11929-1	70
16.4.1	Comptage du bruit de fond	70
16.4.2	Résultat primaire et son incertitude-type associée	70
16.4.3	Incetitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	70
16.4.4	Seuil de décision	70
16.4.5	Limite de détection	71
16.4.6	Limites des intervalles élargis	71
16.4.7	Meilleure estimation et son incertitude-type associée	72
16.5	Documentation des résultats obtenus d'après l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2	72
16.6	Évaluation et explications	73
17	Mesurage du débit de dose avec un moniteur de neutrons	74
17.1	Définition de la tâche et aspects généraux	74
17.2	Modèle d'évaluation et incertitude-type	75
17.3	Informations disponibles, données d'entrée et spécifications	76
17.4	Évaluation du mesurage et des limites caractéristiques	78
17.4.1	Comptage du bruit de fond	78
17.4.2	Résultat primaire et son incertitude-type associée	78
17.4.3	Incetitude-type en fonction d'une valeur vraie présumée	78
17.4.4	Seuil de décision	79
17.4.5	Limite de détection	80
17.4.6	Limites des intervalles élargis	80
17.4.7	Meilleure estimation et son incertitude-type associée	81
17.5	Documentation des résultats	81
17.6	Évaluation et explications	82
	Annexe A (informative) Détermination d'un facteur d'étalonnage	83
	Annexe B (informative) Calculs selon l'ISO 11929-2	88
	Bibliographie	91

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).

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).

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.

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 troisième édition de l'ISO 11929-4 annule et remplace la deuxième édition (ISO 11929-4:2020), qui a fait l'objet d'une révision mineure.

Les principales modifications sont les suivantes:

— des changements rédactionnels ont été apportés au texte et aux formules.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 11929 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.

Introduction

Les incertitudes de mesure et les valeurs caractéristiques, c'est-à-dire les limites caractéristiques telles que le seuil de décision, la limite de détection et les limites de l'intervalle élargi pour les mesurages, ainsi que la meilleure estimation et son incertitude-type associée, sont importantes pour la métrologie en général, et pour la radioprotection en particulier. La quantification de l'incertitude associée au résultat d'un mesurage sert de base pour déterminer la confiance qu'une personne peut accorder à ce résultat.

NOTE 1 Le respect des limites réglementaires, des contraintes ou des valeurs de référence ne peut être démontré qu'en prenant en compte et en quantifiant la totalité des sources d'incertitude. Les limites caractéristiques servent — en définitive — de base pour décider d'accepter des résultats en tenant compte de l'incertitude.

L'ISO 11929 (toutes les parties) fournit des valeurs caractéristiques d'un mesurande non négatif de rayonnements ionisants. Elle peut s'appliquer à un large éventail de méthodes de mesure allant bien au-delà du mesurage des rayonnements ionisants.

Les limites à établir conformément à l'ISO 11929 (toutes les parties), pour les probabilités spécifiées de décisions incorrectes, permettent d'évaluer les possibilités de détection d'un mesurande ainsi que l'effet physique quantifié par ce mesurande, comme suit:

- le «seuil de décision» permet de décider si l'effet physique quantifié par le mesurande est présent ou non;
- la «limite de détection» indique la plus petite valeur vraie du mesurande qui peut encore être détectée par la procédure de mesure utilisée; cela permet de décider si la procédure satisfait ou non aux exigences et si elle est donc adaptée à l'objectif de mesurage prévu;
- les «limites de l'intervalle élargi» comprennent, si l'effet physique est reconnu comme présent, un intervalle élargi contenant la valeur vraie du mesurande avec une probabilité spécifiée.

Dans la suite du présent document, les limites mentionnées ci-dessus sont collectivement appelées «limites caractéristiques».

NOTE 2 Conformément au Guide ISO/IEC 99 mis à jour par le JCGM 200:2012, le terme «intervalle élargi» est utilisé ici à la place de «intervalle de confiance» afin de distinguer la terminologie bayésienne de celle des statistiques conventionnelles.

Toutes les valeurs caractéristiques sont fondées sur les statistiques bayésiennes et sur le Guide ISO/IEC 98-3 ainsi que sur le Guide ISO/IEC 98-3:2008/S1 et le Guide ISO/IEC 98-3:2008/S2. Comme l'explique en détail l'ISO 11929-2, les valeurs caractéristiques sont définies mathématiquement au moyen de moments et de quantiles de lois de probabilité des valeurs possibles des mesurandes.

Comme l'incertitude de mesure joue un rôle important dans toutes les parties de l'ISO 11929, l'évaluation des mesurages et le traitement des incertitudes associées sont réalisés au moyen de procédures générales conformément au Guide ISO/IEC 98-3 et au Guide ISO/IEC 98-3:2008/S1 (voir aussi les Références [21] à [25]). Cela permet d'établir une séparation stricte entre, d'une part, l'évaluation des mesurages et, d'autre part, la mise en place et le calcul des valeurs caractéristiques. L'ISO 11929 (toutes les parties) utilise une théorie d'incertitude de mesurage^{[26] à [28]} reposant sur les statistiques bayésiennes (par exemple les Références [29] à [36]) afin de pouvoir également tenir compte de ces incertitudes qui ne peuvent pas être déduites de mesurages répétés ou de mesurages par comptage. Ces dernières incertitudes ne peuvent pas être traitées par des statistiques fréquentistes.

Du fait des développements en métrologie concernant l'incertitude de mesure exposés dans le Guide ISO/IEC 98-3, l'ISO 11929:2010 a été rédigée sur la base du Guide ISO/IEC 98-3, mais en utilisant les statistiques bayésiennes et la théorie bayésienne de l'incertitude de mesure. Cette théorie sert de base bayésienne pour le Guide ISO/IEC 98-3. En outre, l'ISO 11929:2010 est fondée sur les définitions des valeurs caractéristiques,^[21] la proposition de norme^[22] et l'article explicatif.^[23] Elle a unifié et remplacé toutes les parties antérieures de l'ISO 11929 et était non seulement applicable à une grande diversité de

mesurages particuliers de rayonnements ionisants, mais aussi, par analogie, à d'autres procédures de mesure. Plusieurs documents explicatifs des concepts de base de l'ISO 11929 (toutes les parties), en général, et de son application ont par ailleurs été publiés[42][43].

Depuis la publication du Guide ISO/IEC 98-3:2008/S1, la méthode Monte Carlo a été utilisée pour traiter de manière exhaustive et plus générale l'incertitude de mesure dans des évaluations de mesure complexes. Ce développement a incité à rédiger un supplément [24] à l'ISO 11929:2010 portant sur la méthode Monte Carlo. L'ISO 11929 (toutes les parties) révisée repose aussi essentiellement sur les statistiques bayésiennes et peut servir de passerelle entre l'ISO 11929:2010 et le Guide ISO/IEC 98-3:2008/S1. En outre, des définitions plus générales des valeurs caractéristiques (ISO 11929-2) et le calcul des valeurs caractéristiques par la méthode Monte Carlo permettent d'aller au-delà de l'état actuel de la normalisation exposé dans l'ISO 11929:2010, car des lois de probabilité peuvent être propagées, et non plus des incertitudes. Elle est donc plus complète et élargit l'éventail des applications.

En outre, l'ISO 11929 (toutes les parties) révisée est plus explicite concernant le calcul des valeurs caractéristiques. La Référence [25] est une enquête fondée sur la révision. Par ailleurs, l'ISO 11929-3 fournit des conseils détaillés pour calculer les valeurs caractéristiques en cas de mesurages à plusieurs variables en utilisant des méthodes de déconvolution. Pour de tels mesurages, le Guide ISO/IEC 98-3:2008/S2 sert de base pour l'évaluation de l'incertitude.

Des formules sont fournies pour le calcul des valeurs caractéristiques d'un mesurande de rayonnement ionisant au moyen de «l'incertitude-type de mesure» du mesurande (ci-après appelée «incertitude-type») déterminée conformément au Guide ISO/IEC 98-3, ainsi qu'en utilisant fonctions de densité de probabilité (FDP) du mesurande déterminées conformément au Guide ISO/IEC 98-3:2008/S1. Les incertitudes-types ou les fonctions de densité de probabilité tiennent compte des incertitudes du mesurage réel, ainsi que de celles du traitement de l'échantillon, de l'étalonnage du système de mesure et d'autres influences. Ces dernières incertitudes sont présumées être connues grâce à des recherches antérieures.

[ISO 11929-4:2022](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6b0aac6c-9e4f-4cea-9f54-32b6a6ec7714/iso-11929-4-2022)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6b0aac6c-9e4f-4cea-9f54-32b6a6ec7714/iso-11929-4-2022>

Détermination des limites caractéristiques (seuil de décision, limite de détection et limites de l'intervalle élargi) pour le mesurage des rayonnements ionisants — Principes fondamentaux et applications —

Partie 4: Lignes directrices relatives aux applications

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie une procédure applicable, dans le domaine de la métrologie des rayonnements ionisants, pour le calcul du «seuil de décision», de la «limite de détection» et des «limites de l'intervalle élargi» pour un mesurande de rayonnement ionisant non négatif, lorsque des mesurages par comptage sont effectués avec une présélection du temps ou du nombre d'impulsions. Le mesurande résulte d'un taux de comptage brut et d'un taux de comptage du bruit de fond ainsi que de grandeurs supplémentaires reposant sur un modèle d'évaluation. En particulier, le mesurande peut être le taux de comptage net défini comme étant la différence du taux de comptage brut et du taux de comptage du bruit de fond, ou l'activité nette d'un échantillon. Il peut également être influencé par l'étalonnage du système de mesure, par le traitement de l'échantillon et par d'autres facteurs.

L'ISO 11929 a été scindée en quatre parties couvrant les applications élémentaires dans l'ISO 11929-1, les applications avancées reposant sur le Guide ISO/IEC 98-3:2008/S1 dans l'ISO 11929-2, les applications aux méthodes de déconvolution dans l'ISO 11929-3, et les recommandations d'application dans l'ISO 11929-4.

L'ISO 11929-1 couvre les applications de base des mesurages par comptage souvent utilisés dans le domaine de la métrologie des rayonnements ionisants. Elle se limite aux applications pour lesquelles les incertitudes peuvent être évaluées sur la base du Guide ISO/IEC 98-3 (JCGM 2008). L'ISO 11929-1:2019, Annexe A traite du cas particulier des mesurages répétés par comptage avec des influences aléatoires, alors que l'ISO 11929-1:2019, Annexe B couvre les mesurages avec des ictomètres analogiques linéaires.

L'ISO 11929-2 étend l'ISO 11929-1 à l'évaluation des incertitudes de mesure conformément au Guide ISO/IEC 98-3:2008/S1. L'ISO 11929-2 contient également plusieurs notes explicatives concernant les aspects généraux des mesurages par comptage et les statistiques bayésiennes dans les mesurages.

L'ISO 11929-3 traite de l'évaluation des mesurages en utilisant des méthodes de déconvolution ainsi que de l'évaluation des mesurages multicanaux spectrométriques par comptage en cas d'évaluation par des méthodes de déconvolution, en particulier pour les mesurages spectrométriques alpha et gamma. Elle fournit en outre des conseils pour le traitement avec des corrélations et des covariances.

L'ISO 11929-4 fournit des recommandations pour l'application de l'ISO 11929 (toutes les parties), résume les grandes lignes de la procédure générale et présente ensuite un large éventail d'exemples numériques. Les exemples couvrent les applications élémentaires selon l'ISO 11929-1 et l'ISO 11929-2.

L'ISO 11929 (toutes les parties) s'applique également de manière analogue à d'autres mesurages de tout type si un modèle d'évaluation similaire est concerné. D'autres exemples pratiques sont fournis dans d'autres Normes internationales (voir les Références [1 à 20] par exemple).

NOTE Un logiciel, baptisé UncertRadio, est disponible pour les calculs conformes aux ISO 11929-1 à ISO 11929-3. UncertRadio^{[40][41]} peut être téléchargé gratuitement à l'adresse: <https://www.thuenen.de/en/fi/fields-of-activity/marine-environment/coordination-centre-of-radioactivity/uncertradio/>. Le logiciel disponible en téléchargement contient un fichier d'installation qui copie tous les fichiers et dossiers à un emplacement spécifié par l'utilisateur. Après l'installation, des informations doivent être saisies concernant le CHEMIN sous Windows qui a été indiqué dans une fenêtre contextuelle au cours de l'installation. La langue anglaise peut être choisie et des informations d'aide étendue sont proposées. Un autre outil est le progiciel «metRology»^[44] qui est disponible pour la programmation en langage R. Il contient les deux fonctions R «uncert» et «uncertMC» qui assurent la propagation des incertitudes conformément au GUM, soit analytiquement soit d'après la méthode Monte Carlo, respectivement. Les covariances/corrélations des grandeurs d'entrée sont incluses. L'application de ces deux fonctions dans les itérations destinées aux calculs du seuil de décision et de la limite de détection simplifie considérablement l'effort de programmation. Il est également possible de mettre en œuvre le présent document dans une feuille de calcul contenant un additif Monte Carlo ou dans d'autres logiciels de mathématique du commerce.

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 3534-1, *Statistique — Vocabulaire et symboles — Partie 1: Termes statistiques généraux et termes utilisés en calcul des probabilités*

ISO 11929-1, *Détermination des limites caractéristiques (seuil de décision, limite de détection et extrémités de l'intervalle élargi) pour mesurages de rayonnements ionisants — Principes fondamentaux et applications — Partie 1: Applications élémentaires*

ISO 11929-2, *Détermination des limites caractéristiques (seuil de décision, limite de détection et extrémités de l'intervalle élargi) pour mesurages de rayonnements ionisants — Principes fondamentaux et applications — Partie 2: Applications avancées*

ISO 80000-1, *Grandeurs et unités — Partie 1: Généralités*

ISO 80000-10, *Grandeurs et unités — Partie 10: Physique atomique et nucléaire*

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

Guide ISO/IEC 98-3:2008/S1, *Incertitude de mesure — Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995) — Supplément 1: Propagation de distributions par une méthode de Monte Carlo, JCGM 101:2008*

Guide ISO/IEC 98-3:2008/S2, *Incertitude de mesure — Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995) — Supplément 2: Extension à un nombre quelconque de grandeurs de sortie, JCGM 102:2011*

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

IEC/TR 62461, *Radiation protection instrumentation — Determination of uncertainty in measurement, Ed. 2.0, IEC 23.1.2015*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 80000-1, de l'ISO 80000-10, du Guide ISO/IEC 98-3, du Guide ISO/IEC 98-3:2008/S1, du Guide ISO/IEC 98-3:2008/S2, du Guide ISO/IEC 99, de l'ISO 3534-1, de l'ISO 11929-1 et de l'ISO 11929-2 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 <https://www.electropedia.org/>.

4 Grandeurs et symboles

Les grandeurs et symboles ci-après sont utilisés tout au long du présent document. Les grandeurs et symboles supplémentaires sont énumérés — si nécessaire — dans les exemples concernés.

m	nombre de grandeurs d'entrée, également utilisé pour la masse de l'échantillon d'essai
n_M	nombre d'essais Monte Carlo réalisés
X_i	grandeur d'entrée ($i = 1, \dots, m$)
Y	mesurande, grandeur d'intérêt
G	modèle d'évaluation établissant un lien entre les grandeurs d'entrée et le mesurande: $Y = G(X_1, \dots, X_m)$
x_i	valeur mesurée de la grandeur d'entrée X_i , estimation de la valeur vraie $\tilde{x}_i$ de X_i
$\tilde{x}_i$	valeurs vraies possibles ou présumées de la grandeur d'entrée X_i
$u(x_i)$	incertitude-type de la grandeur d'entrée X_i associée à l'estimation x_i
Δx_i	largeur de la région des valeurs possibles de la grandeur d'entrée X_i
$u_{\text{rel}}(w)$	incertitude-type relative d'une grandeur W associée à l'estimation w
$\tilde{y}$	valeurs vraies possibles ou présumées du mesurande; si l'effet physique d'intérêt n'est pas présent, alors $\tilde{y} = 0$, sinon $\tilde{y} > 0$
y	valeur déterminée du mesurande Y , estimation du mesurande, résultat du mesurage primaire du mesurande
y_j	valeurs y obtenues à partir de différents mesurages ($j = 0, 1, 2, \dots$)
$u(y)$	incertitude-type du mesurande associée au résultat du mesurage primaire y
$\tilde{u}(\tilde{y})$	incertitude-type d'un estimateur du mesurande Y , fonction d'une valeur vraie présumée $\tilde{y}$ du mesurande
$\hat{y}$	meilleure estimation du mesurande
$u(\hat{y})$	incertitude-type du mesurande associé à la meilleure estimation $\hat{y}$
y^*	seuil de décision du mesurande
$y^\#$	limite de détection du mesurande

y_r	valeur de référence du mesurande
$y^<, y^>$	limites inférieure et supérieure, respectivement, de l'intervalle élargi symétrique du mesurande
$y^<, y^>$	limites inférieure et supérieure, respectivement, de l'intervalle élargi le plus court du mesurande
$f(\tilde{y} y)$	fonction de densité de probabilité (FDP) a posteriori pour une valeur vraie $\tilde{y}$ étant donné que l'estimation y ne tient pas compte du fait que le mesurande Y est non négatif
$f(\tilde{y} y, Y \geq 0)$	fonction de densité de probabilité (FDP) a posteriori pour une valeur vraie $\tilde{y}$ étant donné que l'estimation y tient compte du fait que le mesurande Y est non négatif
$f(y \tilde{y}=0)$	fonction de densité de probabilité (FDP) prédictive pour obtenir une valeur mesurée y si une valeur vraie $\tilde{y}=0$ du mesurande Y est présumée
$f(y \tilde{y}=y^\#)$	fonction de densité de probabilité (FDP) prédictive pour obtenir une valeur mesurée y si une valeur vraie $\tilde{y}=y^\#$ du mesurande Y égale à la limite de détection $y^\#$ est présumée
$Ga(\tilde{r}; n, 1/t)$	loi gamma en tant que fonction de densité de probabilité (FDP) de la valeur vraie $\tilde{r}$ d'un taux de comptage R étant donné le nombre n d'impulsions obtenu pendant un temps de comptage t ; voir l'ISO 11929-2:2019, Annexe A, pour plus de détails
$N(\tilde{x}; x, u(x))$	loi normale ou de Gauss en tant que fonction de densité de probabilité (FDP) de la valeur vraie $\tilde{x}$ d'une grandeur X étant donné une estimation x avec son incertitude-type associée $u(x)$
$R(\tilde{x}; x_L, x_U)$	distribution rectangulaire en tant que fonction de densité de probabilité (FDP) de la valeur vraie $\tilde{x}$ d'une grandeur X étant donné les limites inférieure x_L et supérieure x_U
$T(\tilde{x}; a, b)$	distribution triangulaire en tant que fonction de densité de probabilité (FDP) de la valeur vraie $\tilde{x}$ d'une grandeur X étant la somme de deux grandeurs, A et B étant les lois de probabilité rectangulaires attribuées avec les limites inférieure et supérieure a_L et b_L , respectivement a_U et b_U , et avec $a = a_L + b_L$ et $b = a_U + b_U$
$H(x)$	fonction de Heaviside (ou fonction de palier): $H(x) = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0 \\ 1 & \text{pour } x \geq 0 \end{cases}$
r_g, r_0	estimation du taux de comptage brut et du taux de comptage du bruit de fond, respectivement
r_n	estimation du taux de comptage net
n_i	nombre d'impulsions comptées obtenues à partir du mesurage du taux de comptage R_i
n_g, n_0	nombre d'impulsions comptées du mesurage brut et du mesurage du bruit de fond, respectivement
t_i	durée du mesurage du taux de comptage R_i
t_g, t_0	durée du mesurage brut et du mesurage du bruit de fond, respectivement
r_i	estimation du taux de comptage R_i
A	activité
a	estimation de l'activité A
w	facteur d'étalonnage

a_m	activité massique
a_s	activité surfacique
α, β	probabilité d'une décision positive incorrecte et d'une décision négative incorrecte, respectivement
$1 - \gamma$	probabilité associée à l'intervalle élargi du mesurande
q_p	quantile d'une distribution pour la probabilité p
$\Phi(x)$	fonction de répartition de la loi normale centrée réduite
ω	$\omega = \Phi[y/u(y)]$, valeur de la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite à $y/u(y)$

5 Résumé du présent document

5.1 Procédures conformes à l'ISO 11929 (toutes les parties)

L'ISO 11929-1 normalise l'évaluation des mesurages de rayonnements ionisants pour un large éventail de modèles d'évaluation ainsi que le calcul des limites caractéristiques (seuil de décision, limite de détection et limites des intervalles élargis) sur la base du Guide ISO/IEC 98-3. Cependant, il existe des exceptions importantes pour lesquelles les procédures ne fournissent pas de résultats fiables et d'autres procédures doivent être appliquées, telles que celles décrites dans le Guide ISO/IEC 98-3:2008/S1. De telles procédures sont traitées dans l'ISO 11929-2. Les aspects de la procédure et les outils permettant de vérifier que l'ISO 11929-1 ou ISO 11929-2 est adaptée ou non à l'application spécifique sont décrits dans l'ISO 11929-1.

Une caractéristique des mesurages de rayonnements ionisants est qu'ils doivent être réalisés en présence d'un rayonnement ambiant qui doit être soustrait d'une grandeur de mesure brute. Cependant, les procédures décrites dans le présent document sont applicables à tous les mesurages où la contribution du bruit de fond ou du blanc doit être soustraite d'une grandeur brute.

5.2 Vue d'ensemble des exemples

Le présent document donne des exemples numériques d'applications élémentaires de l'ISO 11929-1 et de l'ISO 11929-2. Les données des tableaux sont souvent fournies avec plus de chiffres que nécessaire, afin que les calculs puissent également être reconsidérés et vérifiés avec une plus grande précision, en particulier pour l'essai de programmes informatiques en cours de développement.

NOTE 1 Les calculs selon la méthode Monte Carlo ont été effectués dans le présent guide avec 1 000 000 d'essais. Par conséquent, les résultats obtenus pour les valeurs caractéristiques restent incertains au troisième chiffre significatif. De plus, l'utilisateur doit garder à l'esprit que le nombre d'essais requis dépend en grande partie du modèle d'évaluation et des FDP attribuées aux grandeurs d'entrée. Dans les applications pratiques, un nombre de 10 000 essais s'avère souvent suffisant.

Un critère permettant de déterminer s'il faut, dans la pratique, privilégier l'ISO 11929-1 ou l'ISO 11929-2 est fourni dans l'IEC/TR 62461. Il fournit la recommandation suivante: «Il convient d'indiquer les résultats des deux méthodes afin de mettre en évidence leur différence. Lorsque les intervalles élargis à 95 % de la méthode de Monte Carlo et de la méthode analytique ne s'écartent pas de plus de 10 %, la méthode analytique peut alors être utilisée pour déterminer l'incertitude dans des cas similaires, c'est-à-dire une fonction du modèle similaire et des valeurs similaires ou inférieures de l'incertitude des grandeurs d'entrée.». Voir également l'ISO 11929-1:2019, 5.3.

Les exemples, modèles et données sont fournis à titre indicatif, et non normatif.