
**Détermination de la limite de détection et
du seuil de décision des mesurages des
rayonnements ionisants —**

Partie 2:

Principes fondamentaux et application aux
mesurages par comptage, avec l'influence du
traitement d'échantillon

*Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing
radiation measurements —
Part 2: Fundamentals and application to counting measurements with the
influence of sample treatment*



Sommaire	Page
Avant-propos	iii
Introduction	iv
1 Domaine d'application	1
2 Référence normative	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles	2
5 Valeurs statistiques et intervalle de confiance	4
5.1 Principes	4
5.2 Seuil de décision.....	5
5.3 Limite de détection.....	5
5.4 Intervalle de confiance.....	6
6 Application de la présente partie de l'ISO 11929 (voir annexe A)	6
6.1 Valeurs spécifiées.....	6
6.2 Évaluation d'une méthode de mesure	6
6.3 Évaluation des résultats mesurés.....	7
6.4 Documentation.....	7
Annexe A (informative) Exemple d'application de la présente partie de l'ISO 11929: Détermination du strontium-90 dans le sol par séparation chimique	11
Bibliographie	16

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

ISO 11929-2:2000

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/23b681e-ee85-4622-ac44-060201157667/iso-11929-2-2000>

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 Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 11929-2 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 85, *Énergie nucléaire*, sous-comité 2, *Radioprotection*, groupe de travail GT 17 (précédemment GT 2), *Mesurages de la radioactivité*.

L'ISO 11929 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Détermination de la limite de détection et du seuil de décision des mesurages des rayonnements ionisants*:

- *Partie 1: Principes fondamentaux et application aux mesurages par comptage, sans l'influence du traitement d'échantillon*
- *Partie 2: Principes fondamentaux et application aux mesurages par comptage, avec l'influence du traitement d'échantillon*
- *Partie 3: Principes fondamentaux et application aux mesurages par comptage, par spectrométrie gamma haute résolution, sans l'influence du traitement de l'échantillon*
- *Partie 4: Principes fondamentaux et leur application aux mesurages réalisés à l'aide d'ictomètres analogiques à échelle linéaire, sans l'influence du traitement d'échantillon*

L'annexe A de la présente partie de l'ISO 11929 est donnée uniquement à titre d'information.

Introduction

La présente partie de l'ISO 11929 traite du domaine des mesurages des rayonnements ionisants pour lesquels les événements (notamment les impulsions) affectant les échantillons sont comptés après traitement (par exemple, prélèvements de fractions aliquotes, solution, enrichissement, séparation). Outre le caractère aléatoire de la désintégration radioactive et du comptage des impulsions, elle tient compte de toutes les autres influences résultant du traitement des échantillons (par exemple, le pesage, l'enrichissement, l'étalonnage ou l'instabilité de l'installation d'essai).

De manière générale, on peut supposer que les résultats de tels mesurages suivent un mélange de lois de Poisson. Certains types de mélanges de lois de Poisson sont des lois binomiales négatives [1, 3, 8].

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 11929, on suppose que les résultats des échantillons et des blancs suivent une loi binomiale négative. Si l'influence du traitement de l'échantillon et l'instabilité du dispositif sont faibles par rapport aux erreurs de comptage statistique, les résultats peuvent suivre une loi de Poisson. Dans ce cas, il est possible d'appliquer l'ISO 11929-1 pour la spécification des valeurs statistiques sous réserve que le test de dispersion [2] indique que la loi de Poisson ne peut pas être rejetée.

On suppose également que la durée du mesurage est courte par rapport à la demi-vie des radionucléides concernés et que l'influence du temps mort de l'instrument est négligeable.

La présente partie de l'ISO 11929 a été élaborée parallèlement à d'autres Normes internationales préparée par le GT 2 (actuellement GT 17): ISO 11932:1996, *Mesurages de l'activité des matériaux solides destinés au recyclage, à la réutilisation ou l'élimination en tant que déchets non radioactifs* et ISO 11929-1, ISO 11929-3 et ISO 11929-4, et présente donc une complémentarité par rapport à ces documents.

Les autres parties de l'ISO 11929 traitent des mesurages ne tenant pas compte du traitement de l'échantillon, des mesurages analogiques du taux d'impulsions et des problèmes spécifiques relatifs à l'application de la présente partie de l'ISO 11929 (par exemple dans le cas de mesurages spectrométriques ou d'une surveillance continue des effluents radioactifs).

Détermination de la limite de détection et du seuil de décision des mesurages des rayonnements ionisants —

Partie 2:

Principes fondamentaux et application aux mesurages par comptage, avec l'influence du traitement d'échantillon

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 11929 a pour objet de définir des valeurs adaptées permettant une évaluation des capacités de détection des mesurages des rayonnements ionisants avec l'influence du traitement d'échantillon. Dans ce but, des méthodes statistiques permettent de définir deux valeurs statistiques caractérisant des probabilités d'erreur données:

- le seuil de décision, qui permet de prendre une décision pour chaque mesurage, avec une probabilité d'erreur donnée de décider si les impulsions enregistrées comprennent ou non une contribution de l'échantillon;
- la limite de détection, qui spécifie la contribution minimale de l'échantillon pouvant être détectée avec une probabilité d'erreur donnée, en utilisant le mode de mesurage en question. Elle permet donc de décider si une méthode de mesure vérifiée au moyen de la présente partie de l'ISO 11929 satisfait ou non à certaines exigences et correspond donc à l'objectif fixé du mesurage.

[ISO 11929-2:2000](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/23b681e-ee85-4622-ac44-0b020f1376b7/iso-11929-2-2000)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/23b681e-ee85-4622-ac44-0b020f1376b7/iso-11929-2-2000>

2 Référence normative

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 11929. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes des accords fondés sur la présente partie de l'ISO 11929 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente du document normatif indiqué ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

Guide BIPM/CEI/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML de l'expression de l'incertitude d'une mesure, Genève 1993.

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 11929, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

méthode de mesure

utilisation d'un instrument de mesure destiné à des comptages dans des conditions données

3.2

seuil de décision

valeur critique d'un test statistique dans le but d'établir une décision entre l'hypothèse nulle $\rho_s = \rho_0$ et l'hypothèse alternative $\rho_s > \rho_0$

NOTE Ce sera la valeur R_n^* qui, lorsqu'elle est inférieure à la valeur déterminée R_n , est prise pour indiquer qu'il convient de rejeter l'hypothèse nulle. Le test statistique doit être conçu de manière que la probabilité de rejeter à tort l'hypothèse (erreur de première espèce) soit égale à une valeur α fixée avant le début du mesurage.

3.3 limite de détection

plus petite espérance mathématique du taux de comptage qui peut être détectée sur des probabilités données et, par conséquent, plus petite différence $\rho_n = \rho_s - \rho_0$ associée au test statistique concerné pour décider entre l'hypothèse $\rho_s = \rho_0$ et l'hypothèse alternative $\rho_s > \rho_0$ et ayant la caractéristique suivante: si en réalité $\rho_n \geq \rho$, la probabilité de ne pas rejeter à tort l'hypothèse $\rho_s = \rho_0$ (erreur de deuxième espèce) doit être, au plus, égale à la valeur β qui est fixée avant le début du mesurage

NOTE La différence entre l'utilisation du seuil de décision et de la limite de détection réside dans le fait que les valeurs mesurées doivent être comparées au seuil de décision, alors que la limite de détection doit être comparée à la valeur de référence.

3.4 intervalle de confiance

intervalle comprenant la valeur vraie de ρ_n dans au moins $(1 - \gamma) \times 100$ % de tous les cas

3.5 échantillon

quantité totale ou une fraction aliquote d'un matériau inactif dont la teneur en radionucléides doit être déterminée par mesurage des rayonnements ionisants après traitement

3.6 blanc

fraction aliquote d'un matériau inactif dont les propriétés sont similaires à celles de l'échantillon et qui est traité et mesuré de la même façon que l'échantillon

3.7 bruit de fond

taux d'impulsions mesuré sans échantillon et les rayonnements émis par les sources externes et les détecteurs non blindés de radionucléides

3.8 comptage brut

taux d'impulsions mesuré à partir du rayonnement de l'échantillon (contribution de l'échantillon) et du bruit de fond

3.9 comptage net

(équivalent à la contribution de l'échantillon) différence entre le comptage brut et le bruit de fond

3.10 valeur de référence

valeur liée aux exigences attachées aux procédures de mesure, dictées par des raisons scientifiques, juridiques ou autres, et qui sont spécifiées, par exemple, comme activité, concentration d'activité, débit de dose, etc.

NOTE Si nécessaire, un facteur d'étalonnage peut être déterminé au moyen d'un étalon radioactif.

4 Symboles

n_0	Nombre de blancs mesurés
n_m	Nombre de blancs surchargés mesurés
n_s	Nombre d'échantillons mesurés

n_u	Nombre de mesurages du bruit de fond externe effectués au moyen d'un mélange de LSC contenant la même quantité d'eau déminéralisée ajoutée à la place de la solution de strontium dans le dispositif
$N_{0,i}$	Nombre d'impulsions comptées avec le $i^{\text{ème}}$ blanc
$N_{m,i}$	Nombre d'impulsions comptées avec le $i^{\text{ème}}$ blanc surchargé
$N_{s,i}$	Nombre d'impulsions comptées avec le $i^{\text{ème}}$ échantillon
$N_{u,i}$	Nombre d'impulsions comptées pendant la $i^{\text{ème}}$ séquence de mesure du bruit de fond externe effectuée au moyen d'un mélange de LSC contenant la même quantité d'eau déminéralisée ajoutée à la place de la solution de strontium
t_0	Durée du mesurage du comptage brut
t_s	Durée du mesurage avec un échantillon
t_m	Durée du mesurage avec un blanc surchargé
t_u	Durée du mesurage sans blanc ni échantillon dans le dispositif
$R_{0,i}$	Taux de comptage du bruit de fond avec un blanc, quotient des impulsions N_0 comptées pendant la durée prédéfinie de mesurage t_0 et la durée de mesurage t_0 : $R_{0,i} = N_{0,i}/t_0$
$R_{s,i}$	Taux de comptage de comptage brut, quotient du nombre d'impulsions comptées pendant la durée prédéfinie de mesurage t_s et la durée de mesurage t_s : $R_{s,i} = N_{s,i}/t_s$
$R_{m,i}$	Taux de comptage avec un blanc surchargé, quotient du nombre d'impulsions comptées pendant la durée présélectionnée de mesurage t_m et la durée de mesurage t_m : $R_{m,i} = N_{m,i}/t_m$
$R_{u,i}$	Taux de comptage du rayonnement du bruit de fond externe au moyen d'un mélange de LSC contenant la même quantité d'eau déminéralisée ajoutée à la place de la solution de strontium, quotient du nombre d'impulsions comptées pendant la durée présélectionnée de mesurage t_u et la durée de mesurage t_u : $R_{u,i} = N_{u,i}/t_u$
$\overline{R_0}$	Moyenne de tous les $R_{0,i}$
$\overline{R_s}$	Moyenne de tous les $R_{s,i}$
$\overline{R_m}$	Moyenne de tous les $R_{m,i}$
$\overline{R_u}$	Moyenne de tous les $R_{u,i}$
$\overline{R_n}$	$\overline{R_n} = \overline{R_s} - \overline{R_0}$
ρ_0	Espérance mathématique de tous les $R_{0,i}$
ρ_s	Espérance mathématique de tous les $R_{s,i}$
ρ_m	Espérance mathématique de tous les $R_{m,i}$
ρ_u	Espérance mathématique de tous les $R_{u,i}$
ρ_n	Espérance mathématique de tous les $R_{n,i}$
R_n^*	Seuil de décision pour le taux de comptage net R_n (voir Tableaux 1 et 2)
ρ_n^*	Limite de détection pour l'espérance mathématique du taux de comptage net R_n (voir Tableaux 1 et 2)
σ_0^2	Variance de tous les $R_{0,i}$
σ_s^2	Variance de tous les $R_{s,i}$

α	Erreur de première espèce; la probabilité de rejeter l'hypothèse nulle $\rho_s = \rho_0$ et de choisir l'hypothèse alternative $\rho_s > \rho_0$ alors que l'hypothèse nulle est vraie	
β	Erreur de deuxième espèce; la probabilité d'accepter l'hypothèse nulle $\rho_s = \rho_0$ au lieu de choisir l'hypothèse alternative $\rho_s > \rho_0$ alors que l'hypothèse nulle est fautive	
$1 - \gamma$	Niveau de confiance de l'intervalle de confiance pour ρ_n (voir Tableaux 1 et 2)	
θ	Écart type relatif (ou coefficient de variation) de l'erreur due à l'influence du traitement de l'échantillon et à l'instabilité du dispositif	
$k_{1-\alpha}$ $k_{1-\beta}$ $k_{1-\gamma/2}$	} Quantiles de la loi normale (voir Tableau 3)	
$t_{1-\alpha, f}$		Quantiles de la loi de distribution de t pour un degré de liberté f (voir Tableau 4)

5 Valeurs statistiques et intervalle de confiance

5.1 Principes

5.1.1 Généralités

La définition des valeurs statistiques relatives au seuil de décision, à la limite de détection et à l'intervalle de confiance est fondée sur la variance des résultats mesurés. Ces valeurs dépendent des variations résultant des statistiques de comptage, de l'instabilité de l'équipement de mesurage et du traitement de l'échantillon. L'instabilité de l'équipement de mesurage peut normalement être négligée car elle est généralement faible par rapport aux autres influences. L'influence des statistiques de comptage peut également être calculée par la formule de Poisson. Le paramètre décrivant la contribution du traitement de l'échantillon peut être déterminé au moyen d'expériences spécifiques avec des blancs surchargés, par l'expérience expérimentale ou, avec une qualité réduite, au travers des variations des résultats mesurés donnés.

5.1.2 Modèle

Si les instabilités de l'installation sont négligées, il est possible d'appliquer le modèle suivant.

Le nombre d'impulsions comptées avec un blanc, N_0 , est donné par la somme du rayonnement du bruit de fond (sources externes et bruit de fond du détecteur) et du rayonnement de matrice.

Le nombre d'impulsions, N_s , comptées avec un échantillon est la somme du rayonnement du bruit de fond, du rayonnement de matrice et du rayonnement de l'échantillon (comptage net):

$$N_s = N_0 + N_n \quad (1)$$

On suppose que, pour une émission radioactive constante, les nombres d'impulsions comptées suivent une loi de Poisson. Dans ce cas, les espérances mathématiques des taux de comptage R_0 et R_s sont ρ_0 et $\rho_s = \rho_0 + \rho_n$ respectivement.

Les variances de R_0 et de R_s sont respectivement ρ_0/t_0 et ρ_s/t_s .

Dans un cas plus général que celui évoqué précédemment, on peut supposer que l'erreur d'échantillonnage (et les erreurs provoquées par le traitement de l'échantillon) liée à la somme ($\rho_0 + \rho_n$) est une variable aléatoire dont l'écart-type est θ . Les espérances mathématiques de R_0 et de R_s ne sont pas modifiées mais leurs variances deviennent:

$$\text{var}(R_0) = \rho_0/t_0 + (\rho_0 - \rho_u)^2\theta^2 \text{ et } \text{var}(\overline{R_0}) = 1/n_0[\rho_0/t_0 + (\rho_0 - \rho_u)^2\theta^2] \quad (2)$$

$$\text{var}(R_s) = \rho_s/t_s + (\rho_s - \rho_u)^2\theta^2 \text{ et } \text{var}(\overline{R_s}) = 1/n_s[\rho_s/t_s + (\rho_s - \rho_u)^2\theta^2] \quad (3)$$

Le taux de comptage net $R_n = (R_s - R_0)$ a l'espérance mathématique ρ_n et la variance:

$$\text{var}(R_n) = \text{var}(R_0) + \text{var}(R_s) \quad (4)$$

Dans ce cas, ρ_0 et ρ_s sont des paramètres inconnus; les valeurs mesurées R_0 , R_s peuvent être prises comme estimations et θ peut être obtenu par des mesurages séparés.

5.1.3 Détermination du paramètre θ

Le paramètre $\theta^2 \geq 0$ est supposé bien connu, s'il est déterminé en utilisant une ligne d'au moins $n_m > 20$ blancs surchargés. Il convient que l'activité ajoutée au blanc pour la surcharge soit suffisamment importante pour rendre la variance des statistiques de comptage faible par rapport à la variance attendue du traitement de l'échantillon. θ peut être calculé par la formule suivante:

$$\theta^2 = \frac{1}{(\overline{R_m} - \rho_u)^2} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_m} (R_{m,i} - \overline{R_m})^2}{n_m - 5/8} - \frac{\overline{R_m}}{t_m} \right] \quad (5)$$

Si le résultat est négatif, prendre $\theta^2 = 0$.

Il convient de déterminer ρ_u de façon très précise.

On suppose que θ est le même pour un blanc surchargé et un échantillon.

5.2 Seuil de décision

Le seuil de décision correspondra à la valeur R_n^* qui, lorsqu'elle est inférieure à un taux de comptage net moyen mesuré R_n , est prise pour indiquer l'existence d'une contribution de l'échantillon. Sinon, on supposera dans chaque cas qu'il n'y a pas contribution de l'échantillon.

Si on observe cette règle, une décision incorrecte qu'il y a contribution de l'échantillon survient avec la probabilité α alors qu'en réalité, il y a seulement une contribution du bruit de fond (erreur de première espèce).

Si θ est connu, le seuil de décision est donné par:

$$R_n^* = k_{1-\alpha} \sqrt{\text{var}(R_n = 0)} \quad (6)$$

où $k_{1-\alpha}$ est un facteur donné dans le Tableau 3.

Les formules de calcul du seuil de décision sont respectivement données au Tableau 1 (si θ est connu) et dans le Tableau 2 (si θ est inconnu).

5.3 Limite de détection

La limite de détection correspondra à la plus petite espérance mathématique du taux de comptage net ρ pour laquelle une mauvaise décision survient avec la probabilité β (si la règle de décision telle qu'elle est spécifiée en 5.2 est appliquée) qu'il n'y a pas contribution de l'échantillon mais seulement une contribution du bruit de fond (erreur de deuxième espèce).

Pour vérifier si un protocole de mesure convient à l'objectif du mesurage, la limite de détection doit être comparée à une valeur de référence spécifiée (par exemple, exigences spécifiées sur la sensibilité du mode opératoire de mesurage pour des raisons scientifiques, juridiques ou autres).

Ainsi, si θ est connu et avec α et β , la limite de détection est:

$$\rho_n^* = R_n^* + k_{1-\beta} \sqrt{\text{var}(R_n = \rho_n^*)} \quad (7)$$

$$= k_{1-\alpha} \sqrt{\text{var}(R_n = 0)} + k_{1-\beta} \sqrt{\text{var}(R_n = \rho_n^*)} \quad (8)$$

et si $\text{var}(R_n = 0) \approx \text{var}(R_n > 0)$

$$\rho_n^* = (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \sqrt{\text{var}(R_n = 0)} \quad (9)$$

Si $\alpha = \beta$, comme il est recommandé dans l'ISO 11929-1, la limite de détection est:

$$\rho_n^* = 2 R_n^* \quad (10)$$

où $k_{1-\alpha}$, $k_{1-\beta}$ sont des facteurs donnés dans le Tableau 3.

Les formules de calcul de la limite de détection dans différentes conditions sont respectivement données dans le Tableau 1 (si θ est connu) et dans le tableau 2 (si θ est inconnu).

5.4 Intervalle de confiance

Les formules de calcul de l'intervalle de confiance sont données dans le Tableau 1 (si θ est connu) et dans le Tableau 2 (si θ est inconnu).

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

6 Application de la présente partie de l'ISO 11929 (voir l'annexe A)

6.1 Valeurs spécifiées

ISO 11929-2:2000

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/23b681e-ee85-4622-ae44-00298f16171c/iso-11929-2-2000>

Les probabilités d'erreur α , β et le niveau de confiance $1 - \gamma$ doivent être spécifiés préalablement. Les valeurs fréquemment citées sont $\alpha = \beta = \gamma = 0,025$. Le nombre de blancs et d'échantillons doit être sélectionné aussi important que possible. Les temps de mesure doivent être choisis de sorte que la limite de détection soit inférieure à la valeur de référence.

NOTE Si $\alpha = \beta = \gamma/2$ sont choisis et si $\text{var}(R_n)$ varie légèrement avec R_n , on obtient pour $R_n = R_n^*$ l'intervalle de confiance $R_n^* \pm k_{1-\alpha} \sqrt{\text{var}(R_n)}$, c'est-à-dire l'intervalle $(0, \rho_n^*)$. Ce choix permet d'éviter une discontinuité dans l'expression du résultat.

6.2 Évaluation d'une méthode de mesure

La décision selon laquelle une méthode de mesure (3.1) satisfait ou non à certaines exigences relatives aux limites de détection doit être déterminée en comparant la limite de détection déterminée au préalable et la valeur de référence spécifiée (voir 5.3).

Ceci peut être effectué soit à l'avance, pour évaluer une méthode de mesure sur la base d'une valeur déterminée de manière empirique pour le bruit de fond ou une mesure distincte, soit après coup, pour l'évaluation d'un mesurage déjà réalisé sur la base des résultats de blancs disponibles. La limite de détection peut être calculée au moyen des formules en 4.2 ou dans le Tableau 1 (si θ est connu), ou dans le Tableau 2 (si θ est inconnu).

Si la limite de détection ainsi déterminée est supérieure à la valeur de référence, le protocole de mesure n'est pas adapté à l'objectif du mesurage.

NOTE Dans certaines situations, un protocole de mesure peut être adapté à l'objectif du mesurage, par exemple en présélectionnant une durée de mesurage plus longue ou un nombre d'impulsions plus important, en réduisant le bruit de fond ou encore en augmentant la quantité de l'échantillon, ou en enrichissant l'échantillon.

6.3 Évaluation des résultats mesurés

Le seuil de décision peut être calculé respectivement au moyen des formules du Tableau 1 (si θ est connu) ou du Tableau 2 (si θ est inconnu).

Un résultat mesuré doit être comparé aux limites de décision ainsi obtenues (voir 5.2).

6.4 Documentation

Le rapport des mesurages réalisés conformément à la présente partie de l'ISO 11929 doit être accompagné de détails sur les probabilités d'erreur, le seuil de décision et la limite de détection.

Pour les contributions d'échantillons établies, il faut également spécifier, outre la valeur mesurée, les intervalles de confiance déterminés conformément aux équations du Tableau 1 (si θ est connu) ou du Tableau 2 (si θ est inconnu) ainsi que le niveau de confiance.

Tableau 1 — Formules de calcul des valeurs statistiques lorsque θ est connu

$$q = \frac{n_s t_s}{n_0 t_0} \quad (11)$$

$$c_1 = \frac{1}{n_0 t_0} + \frac{1}{n_s t_s} \quad (12)$$

$$c_2 = \frac{1}{n_0} + \frac{1}{n_s} \quad (13)$$

$$c_3 = \rho_0 \left(\frac{1}{n_0 t_0} + \frac{1}{n_s t_s} \right) + \theta^2 (\rho_0 - \rho_u)^2 \left(\frac{1}{n_0} + \frac{1}{n_s} \right) \quad (14)$$

$$c_4 = \frac{1}{2} (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \quad (15)$$

$$c_5 = \frac{q}{q+1} \quad (16)$$

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/23b681e-ee85-4622-ac44-0b020f1376b7/iso-11929-2-2000>

Seuil de décision

$$R_n^* = \frac{k_{1-\alpha}^2 c_5 [c_1 + 2c_2 \theta^2 (\bar{R}_0 - \rho_u)]}{2[1 - k_{1-\alpha}^2 \theta^2 c_2 c_5^2]} \times \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4[1 - k_{1-\alpha}^2 \theta^2 c_2 c_5^2] [c_1 \bar{R}_0 + c_2 \theta^2 (\bar{R}_0 - \rho_u)^2]}{k_{1-\alpha}^2 c_5^2 [c_1 + 2c_2 \theta^2 (\bar{R}_0 - \rho_u)]^2}} \right] \quad (17)$$

Si $n_s \times t_s \times \rho_0$ est suffisamment grand et que θ est petit, la formule suivante, plus simple, peut être appliquée:

$$R_n^* = k_{1-\alpha} \sqrt{\bar{R}_0 \left(\frac{1}{n_0 t_0} + \frac{1}{n_s t_s} \right) + \theta^2 (\bar{R}_0 - \rho_u)^2 \left(\frac{1}{n_0} + \frac{1}{n_s} \right)} \quad (18)$$