
NORME INTERNATIONALE 4053 / 1

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

Mesurage de débits de gaz dans les conduites — Méthodes par traceurs — Partie I : Généralités

*Measurement of gas flow in conduits — Tracer methods —
Part I : General*

ITEH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Première édition — 1977-09-15

[ISO 4053-1:1977](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1dc9bc7e-a49b-4c55-add5-5cfa80872fe5/iso-4053-1-1977>

CDU 532.574.87

Réf. n° : ISO 4053/1-1977 (F)

Descripteurs : mesurage de débit, écoulement en conduite fermée, écoulement de gaz, méthode par traceurs, test statistique, calcul d'erreur.

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 confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique correspondant. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO.

La Norme internationale ISO 4053/1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 30, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées*, et a été soumise aux comités membres en septembre 1976.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée :

Allemagne	Inde	Royaume-Uni
Australie	Italie	Turquie
Belgique	Mexique	U.S.A.
Corée, Rép. de	Pays-Bas	Yougoslavie
France	Roumanie	

Le comité membre du pays suivant l'a désapprouvée pour des raisons techniques :

Japon

Mesurage de débits de gaz dans les conduites — Méthodes par traceurs —

Partie I : Généralités

0 INTRODUCTION

La présente Norme internationale est la première d'une série de normes relatives au mesurage de débits de gaz dans les conduites à l'aide de méthodes par traceurs.

La série complète des Normes internationales sera la suivante :

- *Partie I : Généralités.*
- *Partie II : Méthode d'injection à débit constant, utilisant des traceurs non radioactifs.*
- *Partie III : Méthode d'injection à débit constant, utilisant des traceurs radioactifs.*
- *Partie IV : Méthode du temps de transit, utilisant des traceurs radioactifs.*

1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme internationale traite du mesurage de débits de gaz dans les conduites à l'aide de méthodes par traceurs.

Dans un écoulement permanent de fluide compressible, le seul paramètre conservatif est le débit masse q_m . En conséquence, la présente Norme internationale se rapporte à ce débit masse q_m .

Toutefois, pour les fluides dont on ne connaîtrait pas exactement la composition (et donc la masse volumique), on pourra mesurer le débit volume q_v , étant entendu que ce débit volume q_v n'est valable que pour les conditions de température et de pression dans lesquelles il a été mesuré.

La présente Norme internationale s'applique au mesurage de débits de gaz pour lesquels on peut injecter un traceur tel qu'un mélange effectif en phase unique avec le gaz de la conduite puisse être réalisé.

Le fluide de la conduite pourra être un mélange de plusieurs gaz à condition que l'état thermodynamique et que les conditions d'écoulement de ce mélange soient bien définis.

Deux procédés fondamentaux sont utilisés :

- Le premier, connu comme méthode par injection à débit constant, est fondé sur le principe de la dilution : on injecte un traceur et on détermine le rapport de dilution du traceur dans le gaz de la conduite, cette dilution étant proportionnelle au débit.

- Le second procédé est une méthode de mesurage du temps de transit de l'écoulement (antérieurement appelée « méthode d'Allen ») : le traceur est injecté dans la conduite et on mesure le temps mis par le traceur pour parcourir une longueur connue entre deux sections dans lesquelles on détermine son passage.

Les avantages et les inconvénients de ces deux méthodes sont étudiés au chapitre 4. Il est nécessaire que la distance entre les sections d'injection et les sections de mesurage soit suffisante pour qu'un bon mélange du traceur avec le gaz de la conduite soit réalisé en fonction de la méthode : cette question de la « longueur de bon mélange » est étudiée au chapitre 6.

De nombreux traceurs, radioactifs ou non, minéraux ou organiques, peuvent être utilisés. Le choix du traceur est fonction des circonstances dans lesquelles s'effectue le mesurage (chapitre 5). L'erreur limite des mesurages peut être inférieure à 1 % dans les cas les plus favorables (voir chapitre 7).

2 VOCABULAIRE ET SYMBOLES

Le vocabulaire et les symboles employés dans la présente Norme internationale sont définis dans l'ISO 4006, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées — Vocabulaire et symboles*.

3 UNITÉS

Les unités de base de la présente Norme internationale sont celles du Système international d'unités SI.

4 CHOIX DE LA MÉTHODE

4.1 Comparaison entre la méthode de dilution et la méthode fondée sur le mesurage du temps de transit.

4.1.1 Avantages des méthodes de dilution

Il n'est pas nécessaire de connaître les caractéristiques géométriques de la conduite.

Il n'est pas nécessaire que les conditions d'écoulement du gaz (p , T) soient constantes.

4.1.2 Avantages de la méthode fondée sur le mesurage du temps de transit

Il suffit de déterminer la distribution de la concentration en fonction du temps dans deux sections de mesure séparées par un volume connu de tuyauterie.

Il n'est pas nécessaire de connaître les volumes, les masses ou les débits du traceur injecté.

4.1.3 Recommandation particulière à la méthode fondée sur le mesurage du temps de transit

Pour cette méthode, il est préférable de disposer d'un tronçon de conduite de section constante entre les deux points de mesurage, de manière que les paramètres d'écoulement soient sensiblement constants sur tout le tronçon de mesurage.

5 CHOIX DU TRACEUR

5.1 Généralités

De nombreux traceurs peuvent être utilisés tels que des traceurs minéraux ou organiques, radioactifs ou non, mais il est nécessaire que le traceur utilisé satisfasse aux exigences suivantes :

- a) qu'il se mélange facilement avec le gaz de la conduite;
- b) qu'il ne cause que des modifications négligeables ou connues au débit;
- c) qu'il soit analysable avec une précision suffisante à une concentration inférieure à la plus haute concentration permise en tenant compte de la toxicité, de la corrosion, etc.;
- d) qu'il soit chimiquement stable dans les conditions d'emploi;
- e) qu'il ne soit présent initialement, dans le gaz ou la conduite, qu'à une concentration négligeable ou constante;
- f) qu'il soit peu onéreux.

En outre, pour la méthode de dilution, il est important pour le traceur :

- g) qu'il ne réagisse pas, au point de fausser le mesurage, avec le gaz circulant dans la conduite ou avec les parois.

De plus, pour la méthode du temps de transit, il est recommandé :

- h) que la concentration du traceur dans les sections de mesurage puisse, si nécessaire, être déterminée à chaque instant;
- i) que, pour obtenir la plus grande précision, le signal du détecteur soit proportionnel à la concentration du traceur (dont il n'est pas nécessaire de connaître la valeur absolue) et que son temps de réponse soit négligeable.

Les produits suivants sont donnés à titre d'exemple :

5.1.1 Traceurs non radioactifs

- Helium He
- Hexafluorure de soufre SF₆
- Méthane CH₄
- Protoxyde d'azote N₂O

5.1.2 Traceurs radioactifs

Traceur	Forme (éventuellement)	Période
Argon 41		110 min
Arsenic 76	⁷⁶ AsH ₃	26,5 h
Brome 82	C ₂ H ₅ ⁸² Br ou CH ₃ ⁸² Br	36 h
Krypton 85		10,6 années
Soufre 35	³⁵ SF ₆	87 jours
Xénon 133		5,27 jours

5.2 Comparaison des divers traceurs

5.2.1 Avantages des traceurs radioactifs

Avec des traceurs émettant un rayonnement γ d'énergie suffisante, il est possible d'effectuer le mesurage au moyen de détecteurs placés à l'extérieur de la conduite.

Avec des traceurs de courte période, tout danger de contamination radioactive disparaît rapidement, et il n'y a pas de pollution permanente, si l'élément considéré est chimiquement inoffensif.

5.2.2 Avantages des traceurs non radioactifs

Il n'est pas nécessaire que les opérateurs soient spécialement entraînés et «habilités».

Il n'est pas nécessaire d'obtenir une autorisation administrative à chaque mesurage.

Les produits sont généralement stables dans le temps; les délais entre leur approvisionnement et leur utilisation sont sans importance.

6 CHOIX DU TRONCON DE MESURAGE ET LONGUEUR DE BON MÉLANGE

6.1 Introduction

Lorsqu'on utilise un traceur pour mesurer le débit de gaz dans une conduite, il doit y avoir une distance suffisante entre la section d'injection de ce traceur et la première section où peuvent être effectués les mesurages de concentration ou de temps de transit. La distance nécessaire pour permettre au traceur de se mélanger au gaz de la conduite est connue sous le nom de longueur de bon mélange.

Cette longueur se définit comme la distance la plus courte sur laquelle la variation maximale (x) de $\int_0^{\infty} C_2 dt$ dans la

section pour la méthode d'intégration ou de la concentration du traceur dans la méthode d'injection à débit constant est inférieure à une valeur déterminée à l'avance (par exemple 0,5 %), C_2 étant la concentration du gaz dans la conduite. La longueur de bon mélange n'est donc pas une valeur fixe : elle varie selon les variations admises de la concentration : plus la variation admise est faible, plus la longueur de bon mélange est grande.

Pour obtenir une précision maximale sur la mesure du débit, il est nécessaire d'avoir les valeurs le plus faibles possibles de (x) dans la section du mesurage. On peut toutefois avoir à tolérer, en pratique, des valeurs assez élevées de (x) si l'on ne dispose pas de longueurs suffisantes de conduite.

On doit prévoir, si possible, une installation avec points de mesurage ou de détections multiples, notamment lorsqu'une variation systématique de la concentration ou de $\int_0^{\infty} C_2 dt$ peut exister dans la section d'échantillonnage.

Selon le traceur employé et la méthode de détection utilisée, les exigences relatives au bon mélange peuvent être moins sévères pour la méthode de mesurage du temps de transit que pour les méthodes de dilution.

Plusieurs techniques ont été mises au point pour réduire la longueur de bon mélange et il est recommandé de les utiliser aussi souvent que possible (voir 6.3).

6.2 Longueur de bon mélange

6.2.1 Calcul théorique de la longueur de bon mélange

L'attention est attirée sur le fait que la longueur de bon mélange trouvée expérimentalement peut différer, de façon notable, de celle prévue par le calcul (voir 6.2.2). Le paragraphe 6.2.1.1 doit donc être considéré comme un simple guide.

6.2.1.1 INJECTION CENTRALE

On obtient les équations suivantes qui donnent la longueur de bon mélange (L/D) en fonction de la variation de concentration du traceur dans la conduite, du nombre de Reynolds (Re) et du frottement sur la tuyauterie. L'équation (1) est établie dans l'hypothèse d'un coefficient constant de diffusion radiale et d'une vitesse uniforme d'écoulement; l'équation (2) dans l'hypothèse d'une répartition parabolique du coefficient de diffusion radiale et d'une vitesse uniforme d'écoulement; l'équation (3) suppose une répartition parabolique du coefficient de diffusion radiale et un profil logarithmique des vitesses.

$$\frac{L}{D} = 1,18 \sqrt{\frac{8}{\lambda}} \left(2,94 - \frac{\ln x}{2,30} \right) \quad \dots (1)$$

$$\frac{L}{D} = \left(2,95 - \frac{\ln x}{2,4} \right) \sqrt{\frac{8}{\lambda}} \quad \dots (2)$$

$$\frac{L}{D} = (20,5 - 2,85 \ln x) Re^{1/10} \left[\frac{\lambda_0}{\lambda} \right]^{1/2} \quad \dots (3)$$

où

x est la variation maximale, en pourcentage, sur la section de la conduite, de la concentration C_2 pour la méthode d'injection à débit constant, ou de $\int_0^{\infty} C_2 dt$, pour la méthode d'intégration, à une distance L du point d'injection;

D est le diamètre de la conduite;

λ est le coefficient de frottement de la conduite;

λ_0 est le coefficient de frottement d'une conduite parfaitement lisse.

Les équations ci-dessus sont représentées à la figure 1; elles montrent qu'avec un nombre de Reynolds $Re = 10^5$, et une tuyauterie lisse, la longueur de bon mélange augmente lorsque x diminue.

La figure 2 montre le peu d'influence du nombre de Reynolds sur la longueur de bon mélange (voir par exemple l'équation (3)). Pour $x = 1\%$ lorsque Re passe de 10^5 à 10^6 , la longueur de bon mélange n'augmente que de 25 % environ.

6.2.1.2 INJECTION ANNULAIRE

Une injection uniforme, au moyen d'une bague de rayon égal à 0,63 fois le rayon de la conduite, réduit la longueur de bon mélange d'environ un tiers des valeurs calculées pour une injection au centre.

6.2.2 Détermination expérimentale de la longueur de bon mélange

Les valeurs de la longueur de bon mélange, déterminées de façon expérimentale dans une conduite rectiligne, de section circulaire et sans obstacle, avec un injecteur central, sont environ doubles des valeurs calculées du point de vue théorique. Cette différence est due à diverses causes, dont notamment la différence entre les conditions réelles d'écoulement et les conditions supposées par l'analyse théorique. Il y a donc lieu d'être prudent dans l'utilisation des résultats théoriques.

Les détails concernant la détermination expérimentale de la longueur de bon mélange sont donnés dans les parties de la Norme internationale relatives aux différentes méthodes.

La figure 3 indique un exemple de variation mesurée de la distance de bon mélange, en fonction de (x) , dans le cas d'une injection centrale et dans le cas de trois autres méthodes d'injection. Il faut noter que le niveau de turbulence de l'écoulement influe sur ces résultats.

6.3 Exemples de méthodes de réduction de la longueur de bon mélange

6.3.1 Injecteurs à orifices multiples

Lorsque le traceur est injecté de façon uniforme par un certain nombre d'orifices (au moins quatre), régulièrement répartis sur la conduite, on peut obtenir une réduction de la longueur de bon mélange par rapport à celle qu'on obtient avec un injecteur central.

La figure 3 montre un exemple de réduction possible de la longueur de bon mélange, au moyen de quatre injecteurs régulièrement espacés autour de la paroi de la conduite, et situés à un rayon égal à 0,63 fois le rayon de celle-ci.

6.3.2 Jets à haute vitesse

Si le traceur est injecté à contre-courant, à une vitesse dépassant de beaucoup la vitesse moyenne du gaz dans la conduite, il se produit un mélange par impact à l'extrémité du jet. La réduction de la longueur de bon mélange dépend du nombre et de la vitesse des jets employés, ainsi que de leur inclinaison par rapport à l'écoulement.

Il n'existe pas encore de données quantitatives exactes sur l'effet des paramètres ci-dessus; mais avec des jets disposés de façon simple, on peut obtenir une réduction d'environ 30 % par rapport à la longueur de bon mélange obtenue avec un seul injecteur central.

6.3.3 Générateurs de tourbillons

L'utilisation de déflecteurs d'écoulement, incorporés à la conduite au voisinage de la zone d'injection, produit une turbulence qui active le mélange et réduit la longueur de bon mélange.

À titre d'exemple, l'injection du traceur à travers trois plaques triangulaires faisant un angle de 40° par rapport à la direction de l'écoulement, a permis de réduire d'un tiers la longueur de bon mélange obtenue avec un seul injecteur central.

6.3.4 Ventilateurs

Si le traceur est injecté en amont d'un ventilateur, on peut réduire de façon considérable la longueur de bon mélange. L'utilisation de pompes à flux mélangé permet de réduire la distance de mélange à environ 100 diamètres.

6.3.5 Coudes, robinets et autres obstacles

Les obstacles dans la conduite provoquent une turbulence supplémentaire qui tend à réduire la longueur de bon mélange. On ne dispose pas de données quantitatives sur ce type d'«accélérateur» de mélange, mais on préfère utiliser des sections de mesure comprenant ces dispositifs.

Pour les méthodes de mesure du temps de transit, il est toutefois nécessaire d'avoir des longueurs de conduite droites et sans obstacles, si l'on veut obtenir la précision maximale.

6.4 Cas où le tronçon de mesure est inférieur à la longueur de bon mélange

L'erreur due à l'emploi d'une longueur, entre la section d'injection et celle de prélèvement, inférieure à la longueur de bon mélange adéquate, peut être réduite par prélèvements simultanés, en un certain nombre de points sur la conduite, d'échantillons qui sont alors mélangés avant le mesurage.

Pour $Re = 10^5$ par exemple, six points de prélèvement de même débit, régulièrement espacés autour de la conduite, à 50 diamètres en aval du point d'injection, ont été trouvés comme équivalents à un seul point de prélèvement à la paroi, situé à environ 100 diamètres du point d'injection.

6.5 Choix du tronçon de mesure

6.5.1 Méthode de dilution

Pour la méthode d'injection à débit constant, le tronçon de mesure se définit comme la longueur de conduite comprise entre le point d'injection et le point de prélèvement. Cette distance doit se déterminer par examen du mélange du traceur, comme indiqué en 6.2, 6.3 et 6.4.

L'apport de gaz de même nature que le gaz du tronçon de mesure n'affecte pas les résultats si le mélange demeure homogène en tous les points de la section de mesure. Le débit mesuré est le débit total passant par la section de mesure.

Si le tronçon de mesure comporte des pertes ou des points de prélèvement, le résultat obtenu n'est valable que s'il est possible d'estimer ou de vérifier que le mélange est homogène en amont de la zone de perte. Dans ce cas, le débit est le débit de la conduite immédiatement en amont de la zone de perte.

6.5.2 Méthode de mesure du temps de transit

Pour la méthode de mesure du temps de transit, on peut considérer que le tronçon de mesure comporte deux parties, à savoir :

- la longueur de conduite située entre le point d'injection du traceur et le premier point de détection;
- la longueur de conduite comprise entre les deux points de détection.

La partie a) est déterminée par examen du mélange du traceur comme indiqué en 6.2, 6.3 et 6.4. Compte tenu du traceur employé et de la méthode de détection utilisée, les exigences relatives au mélange sont peut-être moins sévères pour cette méthode que pour la méthode de dilution.

La partie b) se détermine par examen du degré de dispersion longitudinale du traceur, de la vitesse moyenne escomptée, et en fonction de la précision de mesure du temps de passage.

Les apports, en amont du premier détecteur, de gaz de même nature que le gaz du tronçon de mesure en amont du détecteur n'affectent pas les résultats, si le mélange demeure homogène en tous les points de la section dans laquelle est placé le premier détecteur.

Les pertes de gaz dans la conduite en amont du premier détecteur n'affectent pas le résultat, mais si le traceur n'est pas complètement mélangé à l'endroit de la perte, un facteur constant peut affecter l'amplitude de la répartition de la concentration dans le temps aux points de détection.

Les pertes ou apports de gaz dans le tronçon de conduite compris entre les points de détection provoquent des erreurs considérables dans le mesurage du débit. Il est donc primordial que la conduite comprise entre les deux points de détection ne comporte ni dérivations, ni fuites.

La longueur de conduite comprise entre les points de détection doit être rectiligne et sans obstacles (tels que robinets) si l'on veut obtenir la précision maximale.

Dans tous les cas, il est nécessaire de connaître le volume de la conduite entre les points de détection.

7 ERREURS

7.1 Généralités

Comme pour tout mesurage de grandeur physique, on distinguera dans l'emploi de la méthode de détermination du débit par traceurs deux types d'erreurs :

- les erreurs systématiques provenant d'erreurs dans l'appareillage de mesurage ou inhérentes à la méthode elle-même;
- les erreurs aléatoires causées par des variations aléatoires dans le système d'écoulement (notamment pour les fluides gazeux dont la compressibilité peut entraîner des variations des paramètres d'écoulement) ou dans l'équipement de mesurage.

7.2 Erreurs systématiques

7.2.1 Comme tous les instruments de mesurage, ceux utilisés pour le mesurage des débits par traceur ont un certain nombre d'imperfections liées à leur conception ou au mode d'utilisation choisi, dont les effets sur les résultats ont un sens déterminé et connu. Ces effets peuvent être éliminés totalement ou partiellement, ou par l'utilisation de méthodes appropriées, ou par des corrections appliquées aux résultats, à partir de la connaissance de certains paramètres d'environnement de l'opération de mesurage.

7.2.2 Dans le mesurage des débits par traceur, il peut exister un autre type d'erreurs systématiques dont le sens peut être défini mais dont la grandeur ne peut être évaluée : elles résultent de phénomènes liés à la disparition de certaines quantités de traceurs soit par réaction chimique avec le fluide d'écoulement, soit par adsorption sur les parois de la conduite. Les erreurs systématiques qui peuvent être causées par ces réactions conduisent, en général, lorsqu'on utilise les méthodes de dilution, à surestimer le débit (disparition du traceur).

On peut réduire cette erreur négligeable par le choix d'un traceur adapté aux conditions particulières et l'utilisation d'un mode opératoire approprié pour l'injection, la détection ou l'échantillonnage et l'analyse.

7.3 Erreurs aléatoires

Dans la présente Norme internationale, les erreurs correspondent à un intervalle de confiance de 95 %.

7.3.1 L'erreur possible sur un mesurage de débit ne peut être exactement déterminée *a priori*, mais il est possible :

- a) d'obtenir une évaluation statistique de l'erreur-limite (intervalle de confiance à 95 %) dans les conditions générales d'utilisation de la méthode, à partir de l'estimation des erreurs limites sur des mesures individuelles destinées à donner le débit (estimation possible à partir de l'analyse d'un grand nombre de mesures);
- b) de déterminer, dans le cas particulier d'un mesurage répété un petit nombre de fois, l'intervalle de confiance à 95 % de l'estimation du résultat que l'on aurait obtenu en répétant les mesurages un très grand nombre de fois, à partir de la moyenne du seul échantillon de mesure (utilisation de la variable de Student).

Dans le cas des fluides gazeux, il y aura lieu de bien vérifier la reproductibilité des écoulements, en particulier de se fixer *a priori* des intervalles de variation des paramètres de l'écoulement, afin que les lois statistiques énoncées ci-dessous puissent être applicables.

7.3.2 Erreur limite dans les conditions générales d'utilisation

Elle peut être prise égale à deux fois l'écart-type sur la mesure du débit, dans le cas où la répartition des erreurs est gaussienne. Si les erreurs individuelles sur les différentes mesures sont petites et indépendantes, l'erreur limite sur la mesure du débit est donc égale à :

$$2 \frac{\sigma_{q_v}}{q_v} = 2 \sqrt{\left(\frac{\partial q_v}{\partial x_1} \times \frac{\sigma_{x_1}}{q_v}\right)^2 + \left(\frac{\partial q_v}{\partial x_2} \times \frac{\sigma_{x_2}}{q_v}\right)^2 + \dots}$$

où

$\frac{\partial q_v}{\partial x_1}, \frac{\partial q_v}{\partial x_2}, \dots$ sont des dérivées partielles dont la valeur dépend de la manière dont q_v est fonction de x_1, x_2, \dots ;

x_1, x_2, x_3, \dots sont les grandeurs indépendantes mesurées;

$\sigma_{x_1}, \sigma_{x_2}, \sigma_{x_3}, \dots$ sont les écarts-types sur les mesures x_1, x_2, x_3, \dots

Si une grandeur indépendante y est obtenue par N mesurages répétés, ce qui serait le cas, par exemple, d'un rapport de dilution obtenu sur un grand nombre d'échantillons et si les résultats de ces mesurages ont été y_1, y_2, \dots, y_N , l'écart-type de la moyenne y_0 des N mesures est défini par :

$$\sigma_{y_0} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} (y_i - y_0)^2}{N(N-1)}}$$

Si la valeur d'une grandeur indépendante résulte d'un petit nombre de mesures N , il est possible de définir, avec un intervalle de confiance donné, un intervalle dans lequel on trouve l'écart-type d'un grand nombre de mesures :

$$\frac{s\sqrt{N}}{\chi_{(n+100)/2}} < \text{écart-type} < \frac{s\sqrt{N}}{\chi_{(100-n)/2}}$$

où

s est l'estimation de l'écart-type calculé à partir d'un petit nombre de mesures;

n est l'intervalle de confiance (en pourcentage) que l'on a choisi;

$\chi_{(n+100)/2}$ et $\chi_{(100-n)/2}$ sont des valeurs numériques tirés d'une table de distribution de « χ^2 » (voir table en annexe).

La valeur de n est généralement prise égale à 95.

Exemple : l'intervalle de confiance à 95 % de l'écart-type d'une grandeur, dont l'estimation à partir de 19 mesures est s , est :

$$\frac{s\sqrt{19}}{\sqrt{8,23}} \quad \frac{s\sqrt{19}}{\sqrt{31,5}} \quad \text{c'est-à-dire } 1,5s \text{ et } 0,78s$$

où 8,23 et 31,5 sont les valeurs lues dans la table de distribution de χ^2 , respectivement :

$$\left. \begin{aligned} \text{colonne } P = 0,975 &= \frac{95 + 100}{2 \times 100} \\ \text{colonne } P = 0,025 &= \frac{100 - 95}{2 \times 100} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{ligne } \nu = 18 = 19 - 1 \end{aligned}$$

7.3.3 Évaluation de l'erreur limite d'une mesure particulière répétée un petit nombre de fois

L'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne des résultats est :

$$\bar{q}_v \pm t^* \frac{s}{\sqrt{N-1}}$$

où

\bar{q}_v et s sont respectivement l'estimation de la moyenne et de l'écart-type tirés des mesures;

t^* est la valeur numérique tirée d'une table de distribution de la variable de Student;

ν est le degré de liberté.

Un extrait de cette table est donné ci-dessous :

ν	t^*
1	12,706
2	4,303
3	3,182
4	2,776
5	2,571
6	2,447
8	2,306
10	2,228
15	2,131
20	2,086
25	2,060
30	2,042
40	2,021
80	2,000
120	1,980
∞	1,960

iteh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 4053-1:1977

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1dc9bc7e-a49b-4c55-add5-5cfa80872fe5/iso-4053-1-1977>

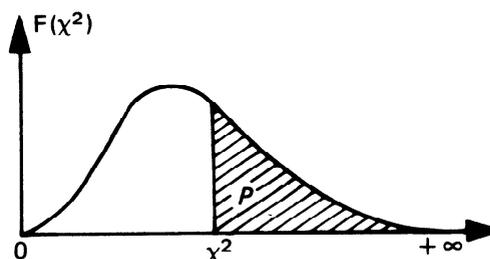
7.3.4 L'erreur sur la mesure est obtenue par l'équation donnée en 7.3.3 et doit être comparée avec l'erreur évaluée à partir de l'équation 7.3.2, pour contrôler le bon emploi de la méthode. Si une différence importante apparaît entre ces valeurs, un examen des résultats doit être réeffectué pour déterminer la cause de cette différence.

ANNEXE

TABLE DE DISTRIBUTION DE χ^2
(Loi de K. Pearson)

Valeurs de χ^2 ayant la probabilité P d'être dépassées avec ν degrés de liberté

$$P = \frac{n + 100}{2 \times 100} \text{ ou } \frac{100 - n}{2 \times 100}$$



iTeh STANDARD PREVIEW

Lorsque $\nu \leq 30$

$\nu \backslash P$	0,990	0,975	0,950	0,900	0,100	0,050	0,025	0,010	0,001
1	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	2,71	3,84	5,02	6,63	10,83
2	0,02	0,05	0,10	0,21	4,61	5,99	7,38	9,21	13,82
3	0,12	0,22	0,35	0,58	6,25	7,81	9,35	11,34	16,27
4	0,30	0,48	0,71	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28	18,47
5	0,55	0,83	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09	20,52
6	0,87	1,24	1,64	2,20	10,64	12,59	14,45	16,81	32,46
7	1,24	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,47	24,32
8	1,65	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09	26,13
9	2,09	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67	27,88
10	2,56	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21	29,59
11	3,05	3,82	4,57	5,58	17,27	19,67	21,92	24,72	31,26
12	3,57	4,40	5,23	6,30	18,55	21,03	23,34	26,22	32,91
13	4,11	5,01	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69	34,53
14	4,66	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14	36,12
15	5,23	6,20	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58	37,70
16	5,81	6,91	7,96	9,31	23,54	26,30	28,84	32,00	39,25
17	6,41	7,56	8,67	10,08	24,77	27,59	30,19	33,41	40,79
18	7,01	8,23	9,39	10,86	25,99	28,87	31,53	34,80	42,31
19	7,63	8,91	10,12	11,65	27,20	30,14	32,85	36,19	43,82
20	8,26	9,59	10,85	12,44	28,41	31,41	34,17	37,57	45,32
21	8,90	10,28	11,59	13,24	29,61	32,67	35,48	38,93	46,80
22	9,54	10,98	12,34	14,04	30,81	33,92	36,78	40,29	48,27
23	10,20	11,69	13,09	14,85	32,01	35,17	38,08	41,64	49,73
24	10,86	12,40	13,85	15,66	33,20	36,41	39,37	42,98	51,18
25	11,52	13,12	14,61	16,47	34,38	37,65	40,65	44,31	52,62
26	12,20	13,84	15,38	17,29	35,56	38,88	41,92	45,64	54,05
27	12,88	14,57	16,15	18,11	36,74	40,11	43,19	46,96	55,48
28	13,57	15,31	16,93	18,94	37,92	41,34	44,46	48,28	56,89
29	14,26	16,05	17,71	19,77	39,09	42,56	45,72	49,59	58,30
30	14,95	16,79	18,49	20,60	40,26	43,77	46,98	50,89	59,70