
NORME INTERNATIONALE 2975/I

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

Mesure de débit de l'eau dans les conduites fermées — Méthodes par traceurs — Partie I : Généralités

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

Première édition — 1974-05-01

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 2975-1:1974

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/038bb8fc-f83b-4ae5-83fd-fabb2452e3f9/iso-2975-1-1974>

CDU 681.121.84

Réf. N° : ISO 2975/I-1974 (F)

Descripteurs : écoulement de liquide, écoulement d'eau, écoulement de fluide en conduite, mesurage d'écoulement, marquage aux isotopes.

Prix basé sur 11 pages

AVANT-PROPOS

L'ISO (Organisation Internationale de Normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (Comités Membres ISO). L'élaboration de Normes Internationales est confiée aux Comités Techniques 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 2975/1 a été établie par le Comité Technique ISO/TC 30, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées*, et soumise aux Comités Membres en octobre 1972.

Elle a été approuvée par les Comités Membres des pays suivants :

Afrique du Sud, Rép. d'	Hongrie	Tchécoslovaquie
Allemagne	Japon	Thaïlande
Australie	Nouvelle-Zélande	U.R.S.S.
Belgique	Pays-Bas	U.S.A.
Espagne	Royaume-Uni	
France	Suisse	

Aucun Comité Membre n'a désapprouvé le document.

© Organisation Internationale de Normalisation, 1974 •

Imprimé en Suisse

SOMMAIRE

	Page
0 Introduction	1
1 Objet et domaine d'application	1
2 Vocabulaire et symboles	1
3 Unités	1
4 Choix de la méthode	1
4.1 Comparaison entre les méthodes de dilution et les méthodes basées sur le mesurage des temps de transit	1
4.2 Comparaison entre les deux méthodes de dilution (injection à débit constant et intégration)	2
5 Choix du traceur	2
5.1 Généralités <small>ISO 75-1:1974</small>	2
5.2 Avantages ou inconvénients des divers traceurs <small>https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/038bb8fc-f83b-4ae5-83fd-fabb2432c519/iso-2975-1-1974</small>	3
6 Choix du tronçon de mesurage et longueur de bon mélange	4
6.1 Introduction	4
6.2 Longueur de bon mélange	4
6.3 Exemples de méthodes de réduction de la longueur de bon mélange	5
6.4 Prélèvements en plusieurs orifices	5
6.5 Choix du tronçon de mesurage	5
7 Erreurs	6
7.1 Généralités	6
7.2 Erreurs systématiques	6
7.3 Erreurs aléatoires	6
Annexe	8

Page blanche

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 2975-1:1974

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/038bb8fc-f83b-4ae5-83fd-fabb2452e3f9/iso-2975-1-1974>

Mesure de débit de l'eau dans les conduites fermées — Méthodes par traceurs — Partie I : Généralités

0 INTRODUCTION

La présente Norme Internationale est la première d'une série de normes traitant de la mesure de débit de l'eau dans les conduites fermées utilisant les méthodes par traceurs.

La série complète des normes 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 d'intégration (injection instantanée), utilisant des traceurs non radioactifs.*
- Partie V : *Méthode d'intégration (injection instantanée), utilisant des traceurs radioactifs.*
- Partie VI : *Méthode des temps de transit, utilisant des traceurs non radioactifs.*
- Partie VII : *Méthode des temps de transit, utilisant des traceurs radioactifs.*

1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme Internationale traite du mesurage de débits d'eau dans les conduites fermées, par des méthodes utilisant des traceurs; le cas des autres liquides et des gaz sera examiné dans les Normes Internationales futures.

Ces méthodes s'appliquent au mesurage du débit dans les conduites dans lesquelles peut être injectée une solution et où peut être assuré un mélange effectif de cette solution avec l'eau de la conduite, cette dernière condition étant fondamentale.

Trois procédés fondamentaux sont utilisés :

Deux procédés, connus comme méthode par injection à débit constant et méthode par intégration (injection instantanée), sont fondés sur le principe de la dilution : on injecte une solution de traceur dans la conduite et on détermine le rapport de dilution de ce traceur dans l'eau de la conduite, cette dilution étant proportionnelle au débit.

Le troisième procédé est une méthode de mesurage du temps moyen de transit (cette méthode était 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.

Dans ces trois méthodes, dont les avantages et les inconvénients 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 l'eau de la conduite soit réalisé : ce problème de la longueur de bon mélange est étudié au chapitre 6.

De nombreux traceurs, radio-actifs 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 des mesurages par traceurs peut être inférieure à 1 % dans de bonnes conditions (chapitre 7).

2 VOCABULAIRE ET SYMBOLES

Le vocabulaire et les symboles employés dans la présente Norme Internationale seront définis dans l'ISO ..., *Glossaire de termes et symboles relatifs à la mesure de débit des fluides dans les conduites fermées.*¹⁾

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 les méthodes de dilution et les méthodes basées sur le mesurage des temps de transit

4.1.1 *Avantage des méthodes de dilution*

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

1) En préparation.

4.1.2 Avantages des méthodes basées sur le mesurage des 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, les débits ou les caractéristiques des solutions injectées.

4.2 Comparaison entre les deux méthodes de dilution (injection à débit constant et intégration)

4.2.1 Avantages du procédé par injection à débit constant

- Dans le cas où le débit d'injection est connu avec la précision et la constance requises, il n'est pas nécessaire de faire des mesurages de temps de l'injection.
- Il est plus simple de vérifier le bon mélange en utilisant un seul instrument, quand il est possible d'effectuer des prélèvements en différents points de la section de mesurage. On doit par contre utiliser plusieurs instruments en parallèle, lorsque cette même vérification est nécessaire dans la méthode par intégration.
- Il est plus simple d'évaluer les erreurs aléatoires.
- Il n'est pas nécessaire de connaître le volume de solution injecté.

4.2.2 Avantages du procédé par intégration

- Ce procédé exige une masse plus petite de traceur, et un temps plus court que la méthode d'injection à débit constant.
- Le mode d'injection est indifférent, le matériel est simple.
- Avec la même quantité de traceur, il est possible d'effectuer le mesurage sur une plus grande longueur de conduite.

5 CHOIX DU TRACEUR

5.1 Généralités

De nombreux traceurs peuvent être utilisés, tels que des traceurs radio-actifs ou non, minéraux ou organiques. Quelle que soit la méthode choisie, il est toutefois nécessaire que le traceur utilisé satisfasse aux exigences suivantes :

- a) qu'il se mélange facilement avec l'eau;
- b) qu'il ne cause que des modifications négligeables au débit;
- c) qu'il soit décelable à une concentration inférieure à la plus haute concentration permise en tenant compte de la toxicité, de la corrosion, etc.

Il est également souhaitable que le traceur utilisé satisfasse aux exigences suivantes :

- d) qu'il soit peu onéreux;
- e) qu'il ne soit présent, dans l'eau circulant primitivement dans la conduite, qu'à une concentration négligeable et constante;

En outre, pour les méthodes de dilution, il est important pour le traceur :

- f) que de très faibles concentrations puissent être analysées avec précision;
- g) qu'il ne réagisse pas, de façon telle que la mesure en soit altérée, avec l'eau circulant dans la conduite ou avec toutes autres substances avec lesquelles il peut entrer en contact.

En outre, pour les méthodes de temps de transit, il est indispensable que le traceur soit tel

- h) que l'on puisse déterminer à chaque instant sa concentration dans les sections de mesurage.

Les produits suivants sont indiqués à titre d'exemple, avec la concentration finale minimale à laquelle ils peuvent être décelés aux niveaux désirés après dilution dans l'eau :

5.1.1 Traceurs non radio-actifs

Dichromate de sodium ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) :

- 2×10^{-5} mg/l en analyse directe
- 2×10^{-3} mg/l après reconcentration
- chlorure de sodium (NaCl) : 1 à 10 mg/l suivant conductivité initiale
- rhodamine B ($\text{C}_{28}\text{H}_{31}\text{ClN}_2\text{O}_3$) : 2×10^{-4} mg/l
- rhodamine Wt
- chlorure de lithium (LiCl)
- fluorescéine ($\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_5\text{Na}_2$) : 5×10^{-3} mg/l

D'autres traceurs ont été employés et en particulier :

- le nitrite de sodium (NaNO_2)
- le sulfate de manganèse ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- le sulfo-rhodamine G

5.1.2 Traceurs radio-actifs

Méthodes de dilution et méthodes des temps de transit :

- le brome 82 (période 36 h, rayonnement γ de 0,41 et 1,09 MeV)
- le sodium 24 (période 15 h, rayonnement γ de 1,37 et 2,75 MeV).

D'autres isotopes, comme :

- l'or 198 (période 2,7 jours, rayonnement γ de 0,41 et 1,09 MeV)

- l'iode 131 (période 8,04 jours, rayonnement γ de 0,25 et 0,81 MeV)

- le chrome 51 (période 27,8 jours, rayonnement γ de 0,32 MeV)

peuvent être utilisés, si les mesurages servent à vérifier l'absence d'adsorption du traceur sur les parois de la conduite ou de l'appareillage de prélèvement et de comptage.

On peut également employer le tritium (période 12,26 ans, rayonnement β de 0,018 MeV).

De plus, pour les méthodes des temps de transit, il est toutefois possible d'employer d'autres isotopes puisque l'effet d'adsorption sur les parois n'est pas aussi important pour la mesure qu'avec les méthodes de dilution. On peut en particulier utiliser des vaches à radio-éléments utilisant par exemple les couples :

- césium 137–barium 137 (période 2,6 min, rayonnement γ de 0,66 MeV)

- étain 113–indium 113 (période 104 min, rayonnement γ de 0,39 MeV)

5.2 Avantages ou inconvénients des divers traceurs

5.2.1 Comparaison entre traceurs radio-actifs et non radio-actifs

5.2.1.1 AVANTAGES DES TRACEURS RADIO-ACTIFS

- Ils peuvent être mesurés à l'aide de sondes placées à l'extérieur de la conduite (pour les traceurs émettant des rayonnements γ).

- Les mesurages sont moins affectés par la turbidité de l'eau, que ceux effectués avec des traceurs non radio-actifs.

- Pour les traceurs à courte période, dont le support est inoffensif, tout danger de contamination disparaît rapidement; il n'y a pas pollution permanente.

- Le prix du traceur n'est pas proportionnel au débit à mesurer, ce qui est intéressant pour les forts débits.

5.2.1.2 AVANTAGE PARTICULIER DES GÉNÉRATEURS DE RADIO-ÉLÉMENTS

- On peut à volonté, sur les lieux du mesurage, à partir d'une faible quantité de substance «mère» de longue période, disposer d'une quantité pratiquement inépuisable de doses de traceurs radio-actifs à courte période et à très bas prix.

- Lorsque la substance «fille» possède une période suffisamment courte, il est possible d'effectuer des mesurages répétés dans des systèmes en circuit fermé.

5.2.1.3 AVANTAGES DES TRACEURS NON RADIO-ACTIFS

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

- Il n'est pas nécessaire d'obtenir d'autorisation administrative pour chaque mesurage.

- Les produits sont en général stables dans le temps, et il peut y avoir des délais et des distances quelconques entre l'approvisionnement du produit et son utilisation.

- Le transport et l'injection du produit n'exigent pas de précautions de sécurité particulières; les conteneurs peuvent être légers.

5.2.2 Comparaison entre divers traceurs non radio-actifs généralement utilisés

5.2.2.1 AVANTAGES DU BICHROMATE

- Analysable à de faibles concentrations, par des procédés colorimétriques n'exigeant pas de personnel spécialisé, et possibilités de reconcentration facile.

- N'existe pas à un taux important dans les eaux naturelles.

- Très stable en cristaux, assez stable en solution dans les eaux pures, même au soleil.

- Très soluble dans l'eau (plus de 600 g/l).

- Relativement peu onéreux.

5.2.2.2 INCONVÉNIENTS DU BICHROMATE

- Instabilité dans certaines conditions.

- Nécessité d'un réactif.

- Toxique en solutions concentrées.

5.2.2.3 AVANTAGES DES RHODAMINES

- Analysables à des concentrations plus faibles que le bichromate.

- Ne nécessitant pas de réactif pour l'analyse, il est possible d'enregistrer leur concentration lors des mesurages.

- N'existent pas dans les eaux naturelles.

- Peu toxiques et sans action sur la faune.

5.2.2.4 INCONVÉNIENTS DES RHODAMINES

- Peu solubles.

- Assez coûteuses.

- Les caractéristiques de certaines rhodamines sont affectées par la lumière solaire, la température ou la présence de certaines argiles dans l'eau (problèmes dus aux effets d'adsorption).
- La couleur résiduelle est difficile à enlever.

5.2.2.5 AVANTAGES DU CHLORURE DE SODIUM

- Résistivité de la solution de chlorure de sodium proportionnelle dans une large gamme à sa concentration.
- Peu coûteux.

5.2.2.6 INCONVÉNIENT DU CHLORURE DE SODIUM

- N'est pas utilisable à de très faibles concentrations.

6 CHOIX DU TRONÇON DE MESURAGE ET LONGUEUR DE BON MÉLANGE

6.1 Introduction

Lorsqu'on utilise un traceur pour mesurer le débit de l'eau dans une conduite, il doit y avoir une distance suffisante entre la zone où le traceur est injecté ou produit et la zone où peuvent être effectués les mesurages de concentration ou de temps de transit. La distance nécessaire pour permettre au traceur de se mélanger à l'eau de la conduite est connue sous le nom de «longueur de bon mélange».

La longueur de bon mélange se définit comme la distance la plus courte sur laquelle la variation maximale (x) de $\int_0^t C_2 dt$ dans la section pour la méthode d'intégration (ce qui correspond à 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 %). La longueur de bon mélange n'est donc pas une valeur fixe, mais qui 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 le mesurage du débit, il est nécessaire d'avoir les valeurs les plus faibles possibles de x dans la section de 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 conduites.

On doit prévoir, si possible, une installation avec points de mesurage ou de détection multiples, notamment lorsqu'une variation systématique de la concentration ou de $\int_0^t C_2 dt$ 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; elles doivent être utilisées aussi souvent que possible (voir 6.3).

6.2 Longueur de bon mélange

6.2.1 Calcul théorique de la longueur de bon mélange

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) se dérive 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.

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

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

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

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 $\int_0^t C_2 dt$, pour la méthode d'intégration, à une distance L du point d'injection;

D est le diamètre de la conduite;

λ est le coefficient spécifique de résistance de la conduite.

Les équations ci-dessus sont représentées de façon graphique 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, 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.

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, 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 de l'eau 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 du moment 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.¹⁾

6.3.4 Pompes et turbines

Si le traceur est injecté en amont d'une pompe ou d'une turbine, on peut réduire de façon considérable la longueur de bon mélange. Les renseignements existant sur les pompes hélico-centrifuges indiquent que ce type de pompe réduit d'environ 100 diamètres la longueur de bon mélange.

6.3.5 Coudes, robinets et autres obstacles

Les obstacles obstruant 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 mesurage comprenant ces dispositifs. Pour les méthodes de mesurage 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 Prélèvements en plusieurs orifices

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 de la conduite, d'échantillons qui sont alors mélangés avant le mesurage.

Pour $Re = 10^5$, par exemple, 6 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 mesurage

6.5.1 Méthodes de dilution

Pour les méthodes d'injection à débit constant et par intégration, le tronçon de mesurage 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 fluide de même nature que le fluide du tronçon de mesurage n'affecte pas les résultats si le mélange demeure homogène en tous les points de la section de mesurage. Le débit mesuré est le débit total passant par la section de mesurage.

Si le tronçon de mesurage 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.

1) Voir à ce sujet «*Triangular plate vortex generators in flow measurement*» par G.V. Evans (Fluid Flow — March 1968 — Vol. 13 — No. 3 — pp. 375 — 376).