
NORME INTERNATIONALE 2975 / VI

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 VI : Méthode du temps de transit utilisant des traceurs non radioactifs

*Measurement of water flow in closed conduits — Tracer methods
Part VI : Transit time method using non-radioactive tracers*

Première édition — 1977-02-15

[ISO 2975-6:1977](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cd7fa1ac-f89-46b4-bcdb-8278417640ec/iso-2975-6-1977)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cd7fa1ac-f89-46b4-bcdb-8278417640ec/iso-2975-6-1977>

CDU 532.574.87

Réf. n° : ISO 2975/VI-1977 (F)

Descripteurs : mesurage de débit, écoulement d'eau, écoulement en conduite fermée, méthode par traceurs.

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 2975/VI a été établie par le comité technique ISO/TC 30, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées*, et a été soumise aux comités membres en janvier 1976.

Elle a été approuvée par les comités membres des pays suivants :

Allemagne	France	Roumanie
Australie	Inde	Royaume-Uni
Belgique	Italie	Turquie
Chili	Mexique	Yougoslavie
Finlande	Pays-Bas	

Aucun comité membre n'a désapprouvé le document.

Mesure de débit de l'eau dans les conduites fermées — Méthodes par traceurs — Partie VI : Méthode du temps de transit utilisant des traceurs non radioactifs

0 INTRODUCTION

La présente Norme internationale est la sixième 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 du temps de transit utilisant des traceurs non radioactifs.
- Partie VII : Méthode du temps de transit utilisant des traceurs radioactifs.

1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme internationale spécifie la méthode du temps de transit utilisant des traceurs non radioactifs, pour la mesure de débit de l'eau dans les conduites fermées.

2 PRINCIPE

La mesure du débit par la méthode du temps de transit (précédemment appelée « méthode d'Allen ») est fondée sur la mesure du temps de transit de particules « marquées » entre deux sections droites de la conduite éloignées d'une distance connue. Le marquage des particules est réalisé par injection d'un traceur dans l'écoulement, en amont des deux sections de mesure (c'est-à-dire les positions des détecteurs) et on détermine le temps de transit en faisant la différence des temps moyens d'arrivée du traceur au niveau de chacune des positions de détection.

Dans certaines conditions (voir chapitre 3), le débit q_v est donné par

$$q_v = \frac{V}{\bar{t}}$$

où

V est le volume de la conduite entre les deux sections de détection;

\bar{t} est le temps de transit des particules marquées.

D'une manière générale, la condition théorique de validité de la formule est que le tronçon de mesure soit fermé à la diffusion, c'est-à-dire que le rapport entre la vitesse locale et le coefficient de dispersion longitudinale soit le même aux deux extrémités du tronçon de mesurage.

En pratique, cette condition est satisfaite dans le cas d'une conduite à section constante.

On obtient la valeur de \bar{t} en mesurant la différence des abscisses des points caractéristiques (en théorie, le centre de gravité, mais en pratique, on peut trouver d'autres points caractéristiques, voir 5.6) sur des courbes enregistrées de répartition correspondant aux courbes concentration/temps ou leurs intégrales, obtenues en chaque section de détection. Le signal issu des détecteurs doit être proportionnel à la concentration du traceur; il n'est toutefois pas nécessaire de connaître la valeur exacte du coefficient de proportionnalité et, par conséquent, la valeur absolue de la concentration.

3 CONDITIONS REQUISES

3.1 Traceur

Le traceur doit remplir les conditions générales définies au chapitre 5 de la partie I.

On utilise habituellement comme traceur du chlorure de sodium principalement du fait de la relation linéaire entre la conductivité de ses solutions et sa concentration sur une large gamme, et, d'autre part, de la facilité avec laquelle on peut le mesurer avec un système d'électrodes approprié.

3.2 Mélange du traceur

Le traceur doit être suffisamment mélangé à l'écoulement au niveau du 1^{er} détecteur pour que les distributions concentration/temps enregistrées au niveau des deux détecteurs représentent bien l'écoulement moyen du fluide dans la conduite (voir 4.1). Le choix des positions de l'injection et des détecteurs dépend de la vitesse du fluide, de la dispersion du traceur et de la configuration de la conduite. Les conditions de ce choix sont traitées au chapitre 4.

3.3 Mode opératoire

Le mode opératoire pour la préparation et l'injection de la solution concentrée (solution qui, en pratique, doit être injectée aussi rapidement que possible pour minimiser la durée de la fonction concentration/temps) est traité en 5.2 et 5.3. Le volume intérieur de la section de mesure doit être déterminé avec une précision suffisante (voir 5.7). D'autres conditions relatives aux essais et au calcul du temps de transit à partir des données disponibles sont précisées au chapitre 5.

4 CHOIX DU TRONÇON DE MESURE

Dans la méthode du temps de transit, le tronçon de mesure comporte deux parties :

- la longueur de conduite comprise entre le point d'injection et la position du premier détecteur;
- la longueur de conduite comprise entre les deux détecteurs.

4.1 Longueur de conduite entre le point d'injection et le premier détecteur

Lorsqu'on mesure la concentration en traceur C_2 en un seul point dans chaque section droite de mesure, la longueur de conduite comprise entre le point d'injection et le premier détecteur doit être égale ou supérieure à la longueur de bon mélange.

La longueur de bon mélange se définit comme la distance la plus courte à partir de laquelle la variation maximale de $\int_0^{\infty} C_2 dt$ dans la section est inférieure à une valeur déterminée à l'avance (par exemple 0,5 %) — voir chapitre 6 de la partie I. Cette distance peut se calculer théoriquement suivant les indications de 6.2.1 de la partie I, la figure 3 de celle-ci représentant la variation mesurée de la longueur de bon mélange en fonction des variations de $\int_0^{\infty} C_2 dt$ dans la section pour diverses conditions d'injection. Des moyens pour réduire la longueur de bon mélange sont donnés en 6.3 de la partie I.

Il n'existe cependant pas suffisamment de résultats expérimentaux disponibles pour relier les variations de $\int_0^{\infty} C_2 dt$ au niveau du premier détecteur à la précision globale du temps de transit déterminée par des mesures de concentration en des points isolés des sections de mesure.

Si la mesure de la concentration au niveau de chaque détecteur représente la concentration moyenne dans la section (par exemple mesures simultanées en plusieurs points ou par un détecteur sensible du traceur sur toute la section), le degré de bon mélange requis au niveau du premier détecteur n'est pas aussi strict que celui qui correspond exactement à la longueur du bon mélange. Dans ce cas, l'écartement nécessaire entre le point d'injection et le premier détecteur peut être considérablement moindre que la longueur de bon mélange.

Pour appliquer, par exemple, la méthode du temps de transit à des essais *in situ* de machines hydrauliques, l'emploi d'une injection en des points multiples de chlorure de sodium et

d'un montage convenable de détecteurs à électrodes permet de mesurer avec précision des débits lorsque l'écartement entre le point d'injection et le premier détecteur n'est équivalent qu'à sept diamètres de conduite (voir annexe A).

Cette application de la méthode a l'avantage de n'exiger que de faibles longueurs de conduite, mais a l'inconvénient de requérir une installation des points d'injection et des électrodes à l'intérieur de la conduite.

Il est préférable que la longueur de conduite comprise entre le point d'injection et le premier détecteur ne contienne aucun accessoire de tuyauterie ni aucune section susceptibles d'augmenter de façon notable la dispersion longitudinale du traceur aux points de détection.

Par accessoires de tuyauterie et sections, on entend par exemple des robinets, des régulateurs de débit, des collecteurs, etc.

4.2 Longueur de conduite entre les détecteurs

La longueur de conduite nécessaire entre les sections de détection dépend de la vitesse linéaire du fluide, de la répartition dans l'espace du traceur au niveau des détecteurs et de la précision requise sur la mesure du temps de transit.

La longueur droite de conduite (L) entre les détecteurs, les différents rapports (ρ) du temps de transit au temps moyen de passage du nuage de traceur à chaque point de détection (c'est-à-dire le temps correspondant au passage de 99,7 % du traceur) et les différentes valeurs de la longueur de conduite (M) entre le point d'injection et le premier détecteur sont liés entre eux par l'expression suivante :

$$L = 4,25 \rho (p + \sqrt{N})$$

où L et N sont exprimés en nombre de diamètres de conduite.

Cette relation est représentée graphiquement à la figure 1.

Si l'on enregistre sur un appareil monovoie les courbes concentration/temps, il est nécessaire que la longueur de conduite comprise entre les deux détecteurs soit supérieure à la dispersion spatiale moyenne du traceur au niveau des positions de détection, de manière à ne pas avoir de recouvrement des courbes enregistrées ($p > 1$).

Si l'on utilise un enregistreur multivoies, cette longueur peut être réduite, mais, pour mesurer avec précision le temps de transit, il est nécessaire que la longueur de conduite comprise entre les deux détecteurs ne soit pas inférieure à la moitié de la dispersion moyenne spatiale du traceur. À titre indicatif, il est recommandé d'utiliser en pratique $p \geq 0,5$.

On doit veiller à ce qu'il n'existe aucune interaction entre les points de détection dans la conduite pendant le passage du traceur. Par exemple, si l'on utilise du chlorure de sodium comme traceur et si la conductivité de l'eau est le paramètre détecté, «l'impulsion» doit être telle que sa présence ne soit pas détectée simultanément aux électrodes des deux détecteurs. Cette condition est satisfaite en ayant $p > 1$ dans le cas d'un circuit de mesure courant.

4.3 Tronçon de mesure

Pour obtenir une précision maximale sur la mesure du débit, le tronçon de conduite entre les deux détecteurs doit consister en une conduite rectiligne, de section uniforme, et ne comporter aucun accessoire de tuyauterie ni sections dans lesquels des zones d'eau morte sont susceptibles d'affecter la courbe concentration/temps enregistrée au niveau du deuxième détecteur. Par accessoires de tuyauterie et sections, on entend des robinets, des régulateurs de débit, des variations brusques de la section, des dérivations à extrémités fermées ou des coudes accentués.

La précision globale de la mesure du débit dépend de la précision avec laquelle le volume interne du tronçon de mesure a été déterminé.

4.4 Pertes et apports

Les apports de fluide de même nature que le fluide de la conduite en amont du premier détecteur n'affectent pas les résultats dans la mesure où le fluide se trouve mélangé à l'écoulement principal lorsqu'il atteint le premier détecteur.

Les pertes de fluide en amont du premier détecteur n'affectent pas le résultat, mais, si le traceur n'est pas complètement mélangé au point où la perte se produit, l'amplitude de la courbe concentration/temps peut en être affectée au niveau des détecteurs, et sa valeur peut être modifiée d'un facteur constant.

Les pertes ou apports de fluide dans la longueur de conduite comprise entre les détecteurs provoquent des erreurs considérables dans la mesure du débit. Il est par conséquent primordial que la conduite ne comporte aucune tubulure de dérivation entre les deux détecteurs, et qu'on n'observe aucune fuite.

5 MODE OPÉRATOIRE

5.1 Emplacement des points d'injection

Le nombre et la position des points d'injection situés dans la section d'injection dépendent principalement de la longueur de conduite comprise entre le point d'injection et le premier détecteur, et de la méthode de mesure de la concentration du traceur au niveau des détecteurs (c'est-à-dire méthode de la «moyenne» ou prélèvement unique — voir 4.1, 4^e alinéa).

Lorsque la longueur de la conduite disponible entre le point d'injection et le premier détecteur est inférieure à la longueur de bon mélange, il est recommandé de procéder comme il est indiqué en 6.3 de la partie I.

Un procédé approprié consiste en particulier à utiliser l'injection à contre-courant d'un jet central ou tout autre dispositif respectant la symétrie de la conduite. L'injection peut également s'effectuer en amont d'une pompe ou d'un dispositif générateur de turbulences. Si l'on utilise plusieurs points d'injection, le système devra être conçu pour permettre une injection simultanée en tous les points.

5.2 Préparation de la solution injectée

La concentration du traceur dans la solution injectée doit être uniforme. L'homogénéité peut être réalisée à l'aide d'un agitateur mécanique ou d'une pompe en circuit fermé.

La concentration requise dépend du volume de fluide à injecter pour chaque mesure du débit-volume, du degré de dispersion longitudinale du traceur au niveau des détecteurs et de la sensibilité de ces derniers. Une évaluation de la concentration maximale C_m du traceur observée dans une conduite rectiligne de diamètre D , à N diamètres de conduite en aval du point d'injection rapide, lorsqu'il n'y a pas d'obstacle dans la conduite et que l'injection est symétrique, peut être faite à l'aide de l'expression suivante :

$$C_m \approx \frac{3A}{4D^3 N^{1/2}}$$

où A est la quantité, en masse, de traceur injecté.

Il est intéressant de noter que cette concentration maximale ne dépend pas du débit dans la conduite.

Lorsqu'un dispositif, augmentant artificiellement la turbulence, est intercalé entre le point d'injection et la première section de mesure, la valeur de la concentration maximale peut être supérieure à celle indiquée par la formule ci-dessus.

Cette expression peut aussi servir à évaluer la quantité de traceur à injecter pour chaque mesure de débit à partir de la valeur connue de la sensibilité des détecteurs de mesure. La quantité de traceur injectée devra être telle que sa concentration au point de détection soit dans la gamme de linéarité du détecteur.

5.3 Injection de la solution concentrée

Pour réduire au minimum la dispersion de la répartition mesurée concentration/temps, le traceur doit être injecté aussi rapidement que possible sans qu'il subsiste de résidus de solution injectée dans les tubes d'injection qui s'écoulent ensuite dans la conduite. Cela peut se réaliser de l'une des trois manières suivantes :

- par l'intermédiaire de robinets d'injection placés à l'extrémité de chaque point d'injection (par exemple, soupapes chargées par des ressorts) qui s'ouvrent simultanément, se ferment rapidement et sont étanches;
- en assurant l'évacuation de la solution injectée dans la conduite par écoulement d'une certaine quantité d'eau exempte de traceur;
- en brisant, à l'aide d'un dispositif approprié, une ampoule contenant le traceur à injecter dans la conduite.

Le traceur peut être injecté dans la conduite sous la pression de l'air ou d'un liquide par des méthodes correspondant à l'une ou l'autre des méthodes ci-dessus.

On notera qu'à de très fortes concentrations en traceur la masse volumique de la solution injectée peut être sensiblement différente de celle du fluide de la conduite. Cela affecte alors la symétrie de l'injection de la solution et, par conséquent, la répartition du traceur au niveau des détecteurs.

On a constaté qu'on pouvait éviter le problème de la stratification de la solution de traceur en choisissant une limite inférieure à la vitesse moyenne de la conduite. On peut calculer la valeur de cette limite à l'aide de l'équation suivante établie à partir d'essais en laboratoire.

$$v^2 = 0,2 g D \left(\frac{\gamma_i}{\gamma_w} - 1 \right)$$

où

v est la vitesse moyenne, en mètres par seconde, dans la conduite;

g est l'accélération, en mètres par seconde par seconde, due à la pesanteur;

D est le diamètre, en mètres, de la conduite;

γ_i est la masse volumique de la solution injectée;

γ_w est la masse volumique de l'eau dans la conduite.

5.4 Détection du traceur

Les concentrations du traceur peuvent être déterminées par des détecteurs situés à l'intérieur de la conduite ou par des cellules de détection de débit échantillonnant un certain volume de fluide en un ou plusieurs points d'échantillonnage dans les sections de mesure. Si le dispositif de détection ne comprend qu'un seul point, on doit s'assurer que le résultat obtenu est le même quel que soit le couple de points choisi. Quand le tronçon de mesure est très régulier entre les deux sections, le choix des points homologues sur le même rayon est susceptible de donner un résultat satisfaisant.

La différence des temps de réponse de l'ensemble de détection dans les deux sections doit être négligeable vis-à-vis du temps de transit.

L'annexe B donne des exemples de montage des électrodes qui peuvent être utilisés à l'intérieur des conduites pour détecter le chlorure de sodium, ainsi que plusieurs circuits électriques types.

5.5 Nombre d'injections

Le nombre d'injections différentes requises pour chaque mesure de débit dépend de la constance du débit mesuré, de l'erreur aléatoire sur la détermination du temps de transit et de la limite globale d'incertitude admise sur la mesure de débit.

Étant donné la quasi-impossibilité d'avoir en pratique un débit absolument constant, il est recommandé de faire au moins cinq injections successives de traceur et des mesures associées de temps de transit pour chaque débit de manière à avoir une analyse objective des incertitudes de mesure (voir chapitre 6).

5.6 Calcul du temps de transit

Le temps de transit du traceur entre les détecteurs peut être déterminé par des constructions graphiques adéquates sur les courbes concentration/temps ou leurs intégrales enregistrées simultanément avec des signaux précis de synchronisa-

tion émis par un dispositif approprié. Le temps de transit peut être déterminé par différence des abscisses des points caractéristiques suivants enregistrés sur les courbes par les détecteurs (figure 2).

a) Centres de gravité.

b) Point définissant la médiane (c'est-à-dire demi-surface).

Le centre de gravité est le point caractéristique théorique correct dans tous les cas. Dans le cas d'une conduite rectiligne, tout point définissant la médiane est également un point caractéristique correct.

c) Point à hauteur partielle.

Les points caractéristiques visés en c) sont définis en traçant une ligne parallèle à l'axe des temps à un niveau compris entre 1/3 et 2/3 de la concentration maximale. Le point milieu entre ceux où cette ligne coupe la montée et la descente de l'impulsion du détecteur est alors le point caractéristique de cette impulsion. La demi-hauteur et 0,6 fois la concentration maximale sont deux niveaux couramment utilisés.

d) Autres points.

Le choix d'autres points, tels que la concentration maximale doit être réservé aux cas où une détermination rapide approximative est nécessaire.

On peut également déterminer le temps de transit par déclenchement d'un système automatique de comptage du temps au moment du passage du traceur au niveau de chaque détecteur. La précision de cette méthode dépend du mode de fonctionnement du système de comptage et de la précision des corrections nécessitées par les différences des courbes concentration/temps au niveau de chaque détecteur.

Lorsque le temps de transit est déterminé sur les courbes concentration/temps enregistrées par des cellules de détection du débit, des corrections doivent éventuellement y être apportées pour tenir compte des différences de temps de transit entre la section de mesure et la cellule pour chaque emplacement des détecteurs.

5.7 Mesure du volume du tronçon de mesure

Le volume interne du tronçon de mesure doit être déterminé par des mesures directes de la capacité du tronçon ou par des mesures du diamètre moyen de la conduite et de la longueur de conduite comprise entre les détecteurs.

Pour la précision maximale, les plans de construction ne doivent pas être utilisés pour la détermination du volume.

Il est pratique de choisir avant montage la portion de conduite à utiliser comme tronçon de mesure; il est important que le volume utile ne soit pas modifié lors du montage.

Il y a lieu de noter que l'incertitude relative sur la détermination du volume a autant d'importance que l'incertitude relative sur la détermination du temps de transit pour l'évaluation de l'incertitude globale sur le débit.

6 ÉVALUATION DES INCERTITUDES SUR LA MESURE DE DÉBIT

On se reportera, pour la détermination des erreurs, au chapitre 7 de la partie I.

D'une manière générale, la liste des causes d'erreurs est étroitement liée aux différentes étapes du mode opératoire décrites dans le chapitre 5 :

6.1 La détermination du volume utile est réalisée avec une incertitude liée à la régularité de la conduite entre les sections de mesures, à la précision et au pas des mesures géométriques réalisées. Le choix d'une valeur conduit à commettre une erreur systématique sur toutes les valeurs de débits calculées à partir d'elle, qui peut s'accompagner d'une erreur aléatoire si des paramètres non contrôlés, tels que température et pression, modifient le volume mesuré. Le nombre de mesures du diamètre de la conduite devra être compatible avec la précision demandée pour la mesure du débit.

6.2 La non-constance dans les deux sections de mesure du terme $\int_0^\infty C_2 dt$, caractéristique de la qualité du mélange, introduit une erreur systématique qui n'est pas calculable actuellement, mais dont l'importance est certainement très inférieure aux écarts maximaux affectant le terme $\int_0^\infty C_2 dt$ dans les deux sections de mesure, notamment lorsqu'on utilise une mesure de la concentration en plusieurs points de la section.

6.3 Le dispositif de détection définit à chaque instant dans les sections de mesures une valeur approchée de la concentration moyenne en traceur : la valeur du temps de transit, calculée à partir des courbes de variation de cette grandeur en fonction du temps aux deux sections de mesure est, de ce fait, entachée d'une erreur systématique qui peut être minimisée par amélioration du dispositif de détection (nombre et répartition des points de détection dans la section).

6.4 Le seuil de sensibilité de l'équipement de détection peut affecter la précision sur la mesure du temps de transit, en particulier lorsque la sensibilité des deux détecteurs est inégale ou qu'il n'y a pas assez de traceur injecté dans la conduite et lorsque des volumes morts existent dans le tronçon de mesure (c'est-à-dire lorsque le rapport du signal maximum au seuil du détecteur est insuffisant). Cette erreur peut être rendue négligeable avec un système de détection correctement conçu, en utilisant une quantité suffisante de traceur et en disposant d'un tronçon de mesure exempt de tout volume mort.

6.5 L'erreur sur le temps est liée directement à la précision du dispositif délivrant les signaux permettant d'établir l'échelle des temps de l'enregistrement. L'erreur systématique de l'incertitude due à l'avance ou au retard de l'horloge est rendue aussi faible que l'on veut par le choix de l'appareil, tandis que l'erreur aléatoire due à l'incertitude de lecture peut être réduite par l'allongement du temps moyen de transit (distance entre les détecteurs).

6.6 Les utilisations des différentes méthodes de détermination des points caractéristiques des nuages décrits en 5.6 introduisent une incertitude supplémentaire dans la détermination du temps de transit moyen. L'erreur systématique peut être diminuée lorsqu'on utilise la même méthode aux deux sections et lorsque la dispersion du traceur est courte devant le temps de transit. L'erreur aléatoire de cette source est fonction de la méthode d'analyse et de la variation du temps de transit provoquée par l'instabilité du débit et la turbulence.

6.7 La mesure par les temps de transit n'étant pas instantanée et ne s'appliquant qu'à un écoulement permettant, en moyenne, les fluctuations de débits autour de la valeur moyenne, sont une cause d'erreur aléatoire.

6.8 L'utilisation de la méthode des temps de transit conduit à diverses erreurs difficiles à évaluer avant la mesure et, par conséquent, on ne peut pas donner la précision sur le débit avant la mesure. On peut indiquer, cependant, que lorsque les conditions sont favorables, une précision de 1 % peut être atteinte ou dépassée.

6.9 Dans tous les cas, l'erreur aléatoire sur le temps de transit ainsi que celles sur la qualité du mélange et le dispositif de détection peuvent être estimées, *a posteriori*, par répétition des mesures du même débit avec le même dispositif et par comparaison avec l'erreur aléatoire faite par analyse des composants de l'erreur à attendre dans les conditions d'utilisation normale (voir 7.3.3 de la partie I).

7 EXEMPLE DE CALCUL DU DÉBIT

On utilise du chlorure de sodium comme traceur pour mesurer un débit d'eau dans une conduite de 2 m de diamètre. Les électrodes sont placées dans la conduite à respectivement 72 m et 172 m en aval de la station d'injection afin de déterminer la conductivité de l'eau. Le traceur est injecté simultanément à l'aide de quatre soupapes placées à égale distance l'une de l'autre sur un cercle de 0,63 m de rayon (soit 0,63 rayon de la conduite).

7.1 Qualité du mélange au droit de la première section de mesure

La première section de mesure est à $72/2 = 36$ diamètres de conduite en aval de la station d'injection.

D'après 6.2 et la figure 3 de l'ISO 2975/I, la variation $\int_0^\infty C_2 dt$ est d'environ 30 %. Cette qualité de mélange est suffisante pour obtenir une erreur-limite sur la mesure du débit meilleure que 1 %, lorsqu'on utilise un système d'électrodes sensibles sur une grande section de la conduite.

7.2 Séparation et dispersion des enregistrements

Le rapport (ρ) du temps de transit au temps moyen de passage du traceur devant chaque section de détection est :

$$\frac{100}{2} = 4,25\rho \left(\rho + \sqrt{\frac{72}{2}} \right)$$

$\rho = 1,56$

Comme ρ est supérieur à 1, tout le traceur aura quitté la première section de mesure avant d'atteindre la seconde, de sorte qu'il n'y aura pas recouvrement des signaux des détecteurs si l'on utilise le même circuit électrique. Le volume de la solution de traceur, à une concentration de 20 g/l, étant de 4 l à chaque injection, la concentration maximale dans la seconde section sera de :

$$C_m = \frac{3 \times 4 \times 20}{4 \times (2)^3 \times (172/2)^{1/2}} \approx 0,809 \text{ g/m}^3$$

On peut utiliser cette valeur calculée pour vérifier si la sensibilité de l'appareil de mesure est compatible avec la précision recherchée pour la mesure du débit.

7.3 Volume du tronçon de mesurage

Le diamètre intérieur moyen de la section de mesure déterminé à partir de 80 mesures indépendantes est de $2,025 \pm 0,002$ m (avec un intervalle de confiance de 95 %), et la distance mesurée entre les deux sections est de $100,2 \pm 0,1$ m.

Le volume du tronçon est donc :

$$V = \frac{\pi \times (2,025)^2 \times 100,2}{4} = 322,7 \text{ m}^3$$

avec une erreur-limite de :

$$\pm 100 \sqrt{\left(2 \times \frac{0,002}{2,025} \right)^2 + \left(\frac{0,1}{100,2} \right)^2} \approx \pm 0,22 \%$$

7.4 Temps de transit

Une autre source importante d'erreur, lors de la mesure du temps de transit, est due à la détermination des points caractéristiques. La valeur de cette erreur est comprise dans l'erreur due à la variation des temps de transit mesurée pour un débit donné (voir plus loin).

Le temps de transit (t_i) correspondant à un débit donné est obtenu en comparant la distance entre les centres de gravité des courbes conductivité/temps (figure 2a) à une échelle des temps enregistrée simultanément et obtenue à partir d'un oscillateur à cristal présentant une erreur-limite de $\pm 0,01$ %.

7.5 Débit volumique

Le débit volumique dans la conduite pendant chaque mesurage du temps de transit est donné par :

$$q_{vi} = \frac{V}{t_i} = \frac{322,7}{t_i} \text{ m}^3/\text{s}$$

Le débit volumique moyen q_v pendant toute la durée de mesure des n injections est :

$$q_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_{vi} = \frac{V}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i}$$

et l'erreur aléatoire due aux variations de débit, à la détermination des points caractéristiques sur les enregistrements et aux erreurs aléatoires sur l'échelle des temps est donnée par :

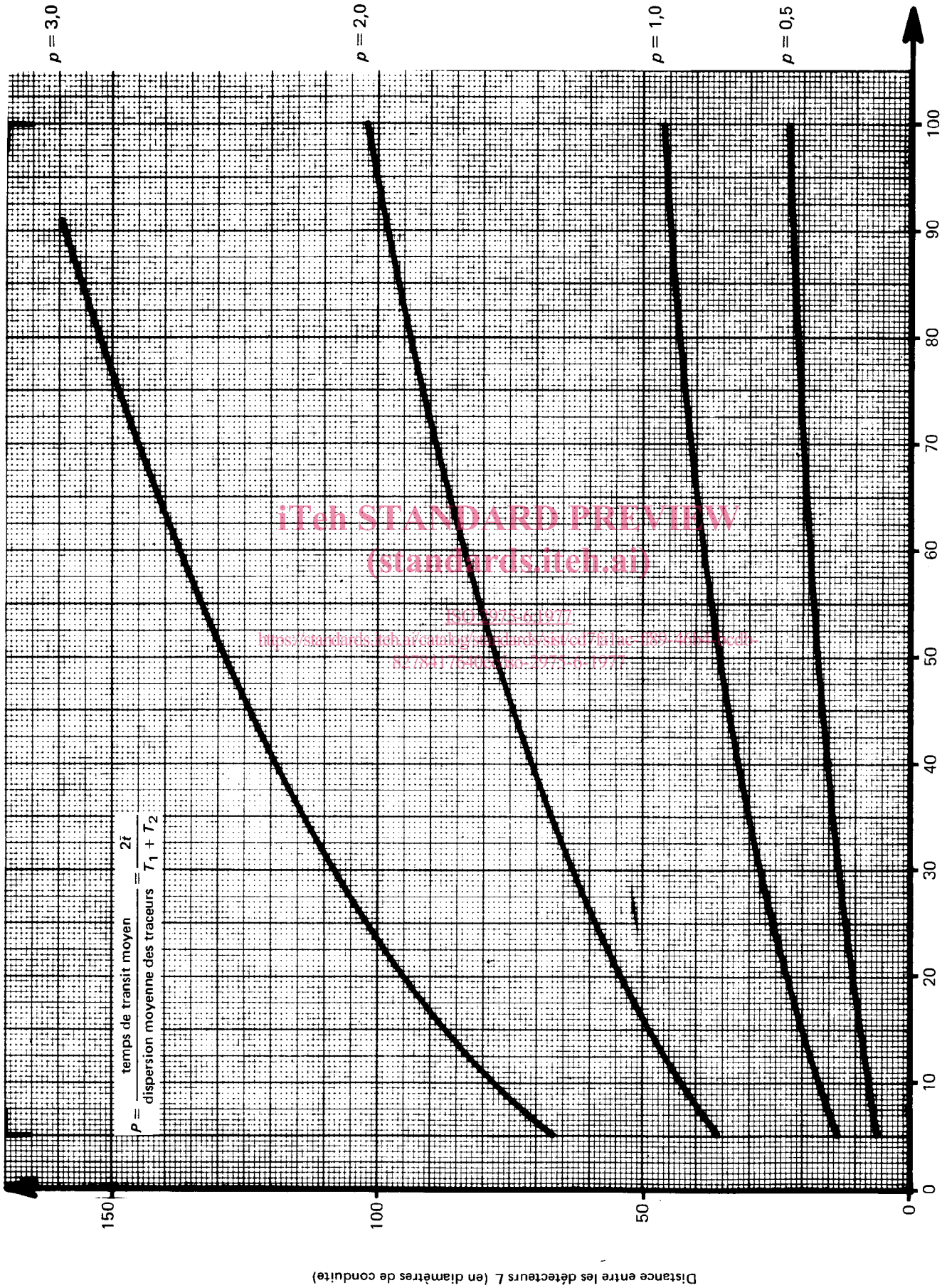
$$t^* \sqrt{\frac{\sum (q_{vi} - q_v)^2}{n(n-1)}}$$

où n est le nombre d'injections et t^* la variable de Student pour $n - 1$ degrés de liberté.

Dans cet exemple, on a posé que le débit volumique moyen est q_v m³/s avec une erreur aléatoire due aux causes énumérées ci-dessus de $\pm 0,4$ % (avec un intervalle de confiance de 95 %). L'erreur-limite totale sur le débit moyen peut être calculée en combinant les diverses erreurs, soit :

$$\sqrt{(0,22)^2 + (0,01)^2 + (0,4)^2} \approx 0,5 \%$$

Cet exemple illustre une mesure de débit effectuée dans des conditions favorables, mais l'erreur-limite peut être nettement supérieure à cette valeur si d'autres sources d'erreur, comme il est dit au chapitre 6, sont en cause. Une évaluation objective de la grandeur de ces erreurs peut être obtenue soit par comparaison avec des étalons primaires de mesure de débit, directement ou indirectement, soit par prise en considération des variations dans les conditions de mesurage (tronçon de mesurage, position des détecteurs, etc.).



Distance N entre le point d'injection et le premier détecteur (en diamètres de conduite)
 FIGURE 1 — Influence de la longueur du tronçon de mesure (conduite droite) sur le rapport du temps moyen de transit à la dispersion du traceur