

113

NORME INTERNATIONALE **ISO** 2425



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

Mesure de débit dans les canaux à marée

Measurement of flow in tidal channels

Première édition – 1974-07-01

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 2425:1974

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8c2592de-9d49-4fe4-8929-95f26d48692e/iso-2425-1974>

CDU 532.57 : 627.13

Réf. N° : ISO 2425-1974 (F)

Descripteurs : marée, canal à marée, mesurage d'écoulement.

Prix basé sur 15 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 2425 a été établie par le Comité Technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*, et soumise aux Comités Membres en septembre 1971.

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

Afrique du Sud, Rép. d'
Allemagne
Autriche
Belgique
Espagne

France
Inde
Irlande
Japon
Pays-Bas

[ISO 2425:1974](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8c2592de-9d49-4fe4-8929-95f26d4872c0/iso-2425-1974)

Roumanie

Royaume-Uni

Suisse

U.S.A.

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 Références	1
3 Terminologie	1
4 Unités de mesure	2
5 Principes de la méthode de mesurage	2
6 Difficultés de mesurage et choix de la méthode	2
7 Mesurage direct d'un débit de marée	3
8 Mesurage direct d'un débit de marée par la méthode du canot mobile	7
9 Mesurage du débit de la marée par la méthode du cubage	8
10 Erreurs de mesure du débit de la marée	9
Annexes	
A Enregistrement des mesures de vitesses dans une rivière à marée	14
B et C Exemples de calcul du cubage	15, 16

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 2425-1974
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8c2592de-9d49-4fc4-8929-95126d48092c/iso-2425-1974>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 2425:1974

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8c2592de-9d49-4fe4-8929-95f26d48692e/iso-2425-1974>

Mesure de débit dans les canaux à marée

0 INTRODUCTION

La présente Norme Internationale donne des informations sur la mesure de débit dans les canaux à marée qui ajoute des problèmes supplémentaires à ceux déjà posés dans les cours d'eau à sens unique. Elle traite de deux méthodes différentes qui sont généralement utilisées pour le mesurage des débits soumis à la marée.

- a) mesurage direct du débit par le mesurage de la vitesse et de l'aire d'une section, et
- b) méthode de cubage.

Pour diverses raisons, le mesurage direct de la vitesse dans les canaux à marée est plus susceptible d'entraîner des erreurs importantes que le mesurage fait dans des conditions d'écoulement à sens unique.

Le chapitre 10, qui traite des erreurs de mesure du débit soumis à la marée, aussi bien lors du mesurage direct (10.1) que lors du mesurage par la méthode de cubage (10.2), constitue un point important de la présente Norme Internationale.

Des annexes sont incluses pour illustrer des exemples et des applications des deux équations fondamentales à utiliser dans le cas de la méthode de cubage.

1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme Internationale, qui constitue un complément à l'ISO 748, spécifie des méthodes de mesurage des vitesses dans les canaux à marée à utiliser en vue de déterminer la courbe de débit et de calculer le volume du flux et du reflux. Elle spécifie également la méthode de cubage.

2 RÉFÉRENCES

ISO 748, *Mesure de débit des liquides dans les chenaux — Méthodes d'exploration du champ des vitesses.*

ISO 772, *Vocabulaire des termes et symboles relatifs à la mesure de débit des liquides s'écoulant avec une surface libre.*

3 TERMINOLOGIE

Dans le cadre de la présente Norme Internationale et en complément des définitions données dans l'ISO 772, les définitions suivantes sont applicables.

3.1 cubage : Technique numérique de calcul du débit dans une section d'un canal à marée, à partir des vitesses de variation du volume d'eau jusqu'à la limite où la marée ne se fait plus sentir, en tenant compte algébriquement du débit d'eau douce entrant dans le canal.

3.2 courant de densité : Phénomène d'écoulement par gravité d'un liquide par rapport à un autre, ou écoulement relatif d'un liquide au travers d'un milieu liquide, par suite d'une différence de densité.

NOTE — Le « coin salé » est un cas particulier de courant de densité avec apparition d'une stratification entre les masses d'écoulement identifiables (voir 3.7).

3.3 reflux : Apparition d'une baisse du niveau de l'eau d'une marée.

3.4 courant de reflux : Mouvement de l'eau, en direction de la mer, dans un canal à marée.

3.5 flux : Apparition d'une montée du niveau de l'eau d'une marée.

3.6 courant de flux : Mouvement de l'eau, en direction de la terre, dans un canal à marée.

3.7 coin salé : Masse importante d'eau salée en provenance de la mer, pénétrant comme un coin au-dessous de l'eau douce dans une voie d'eau à marée où la turbulence ne permet pas un mélange appréciable des eaux.

3.8 estuaire : Étendue d'eau en partie fermée, sur le bief intérieur d'une rivière raccordée librement à la mer et pouvant, en général, être alimentée en eau douce par des zones de drainage à l'amont.

3.9 marée : Montée et descente périodiques de l'eau, dues principalement à l'attraction gravitationnelle du soleil et de la lune.

3.10 canal à marée (voie d'eau à marée) : Canal où l'écoulement est soumis à l'action de la marée.

NOTE — Une voie d'eau à marée comporte outre un ou plusieurs canaux à marée, les fonds et les rives ou berges qui limitent l'écoulement à marée haute.

3.11 prisme de marée : Volume d'eau entrant avec la marée dans un chenal et en ressortant après le temps d'une marée complète, à l'exclusion de tout débit amont.

3.12 amplitude de la marée : Différence de niveau entre la haute mer et la basse mer. L'amplitude est spécifique d'une marée particulière en cas de référence à la haute mer et à la basse mer suivante. Si ce n'est pas le cas, l'amplitude pourrait se rapporter à des extrêmes de haute et de basse mer s'étendant sur une période de temps spécifique (l'amplitude de la marée peut être considérée comme la différence entre le niveau d'eau durant la haute mer ou la basse mer et le niveau moyen de la mer en un endroit donné ou l'élévation moyenne de la marée).

4 UNITÉS DE MESURE

Les unités de mesure utilisées dans la présente Norme Internationale sont la seconde et le mètre (ou le foot).

5 PRINCIPES DE LA MÉTHODE DE MESURAGE

Le renversement de la marée dans les canaux à marée ajoute d'autres problèmes à ceux qui sont déjà posés par la mesure de débit dans les cours d'eau à sens unique.

C'est la raison pour laquelle les méthodes spécifiées dans l'ISO 748 ne peuvent pas s'appliquer intégralement aux canaux à marée.

Dans les canaux à marée, le mesurage du débit se fait généralement à l'aide de l'une des méthodes suivantes :

5.1 Méthode d'exploration du champ des vitesses

Un emplacement de jaugeage est choisi en tenant compte des conditions requises et sa largeur est mesurée à l'aide des méthodes topographiques habituelles. La profondeur est mesurée en un certain nombre de verticales réparties dans la section, ce nombre devant être suffisant pour déterminer le profil et l'aire de la section. Les vitesses sont mesurées à l'aide d'un moulinet en différents points situés sur chacune des verticales choisies dans la section. Le nombre de verticales et le nombre de points sur chacune d'elles dépend de la précision requise et du nombre de moulinets et de bateaux disponibles. Les vitesses doivent subir les corrections nécessaires pour tenir compte des directions variables de l'écoulement, en particulier en présence d'un coin salé.

Ces mesurages de vitesse sont effectués pendant au moins le temps d'une marée complète, les intervalles entre deux mesurages successifs sur la même verticale étant aussi courts que possible. Les vitesses mesurées sont alors rapportées au même instant et le débit en cet instant est calculé en multipliant la vitesse moyenne par l'aire de la section transversale du cours d'eau.

5.2 Méthode du canot mobile

La méthode du canot mobile est une application modifiée de la méthode classique de mesure du débit par moulinets et intégration du champ des vitesses. Cette méthode ne demande pas d'installations fixes et se prête aux changements de lieux si les conditions l'exigent. La vitesse peut avoir besoin d'être corrigée pour tenir compte des

directions variables de l'écoulement, notamment en présence de coins salés.

5.3 Méthode du cubage

Le débit est calculé à partir des variations du volume d'eau dans le canal à de courts intervalles de temps. À des intervalles de temps appropriés, le niveau de l'eau et les largeurs sont observés simultanément en un certain nombre de stations situées le long du canal jusqu'à l'endroit où la marée ne se fait plus sentir. Pour chaque bief, l'aire de la surface libre correspondant aux divers niveaux d'eau est déterminée. Les variations du volume d'eau pendant des intervalles de temps déterminés sont calculées. Si le débit d'eau douce en provenance d'une part de la rivière en amont du canal à marée, et d'autre part, d'autres affluents, est connu, on peut alors, en partant du début de l'estuaire, considérer successivement chaque bief et faire la somme algébrique du volume de l'écoulement en direction de la mer à l'extrémité amont du bief, du volume de déversement des affluents dans le bief et de la diminution du volume d'eau contenu dans ce dernier; on obtient ainsi le volume qui a traversé la section marquant l'extrémité aval du bief en direction de la mer, pendant l'intervalle de temps considéré. Divisé par l'intervalle de temps, ce volume donne le débit dans la section.

6 DIFFICULTÉS DE MESURAGE ET CHOIX DE LA MÉTHODE

6.1 Difficultés particulières rencontrées

L'action de la marée peut être cause d'un certain nombre de difficultés mentionnées ci-dessous, mais il faut souligner que quelquefois, notamment dans la partie amont du canal à marée, cette action ne provoque pas un changement de direction de l'écoulement, mais se manifeste sous forme d'un débit pulsatoire. Dans ce cas, et bien que l'écoulement se fasse toujours dans la même direction, les méthodes décrites dans l'ISO 748 ne seront pas suffisantes et il sera nécessaire d'appliquer la présente Norme Internationale.

Les difficultés dues à la marée sont les suivantes :

- a) variation continue des niveaux de l'eau avec ou sans changements de direction du courant en fonction du temps;
- b) sur une verticale à une même profondeur, variation continue de la vitesse avec le temps et, à des profondeurs différentes, gradients de vitesse plus importants que pour les rivières à courant en sens unique;
- c) changements dans la répartition des vitesses, en fonction du temps;
- d) pendant la période de transition entre le flux et le reflux, ou vice-versa, changement de direction du courant et passage de la vitesse par une valeur nulle;
- e) possibilité que le renversement de la marée et le changement de direction du courant ne se produisent pas en même temps;

f) possibilité que le changement de direction du courant ne se produise pas en même temps sur toute la largeur et la profondeur de la voie d'eau;

g) en raison des courants de densité (coin salé), possibilité d'une stratification de l'écoulement, les couches supérieures s'écoulant dans une direction et les couches inférieures dans la direction opposée, le changement de direction du courant et la vitesse maximale se produisant à des instants différents suivant les profondeurs;

h) variations importantes et rapides de la largeur et du volume des sections dues aux recouvrements et aux découverts successifs des rives par la marée;

j) présence de macro-turbulence, (il a été mesuré, par exemple, des pulsations de période pouvant dépasser 30 s et d'amplitude allant jusqu'à 50 % de la vitesse mesurée) et de seiches;

6.2 Choix des méthodes de mesurage

Il convient de noter que la méthode d'exploration du champ des vitesses exige un nombre considérable d'observations dans une section, alors que la méthode de cubage exige moins d'observations et dans plus d'une section, ces observations ne portant que sur les niveaux et les surfaces.

Le choix de la méthode de mesurage dépendra des dimensions et de la forme du chenal, de l'amplitude de la marée et de l'absence ou de la présence éventuelle d'un coin salé.

6.2.1 Comme indiqué en 6.1, le mesurage direct de la vitesse dans un canal à marée est susceptible d'erreurs plus grandes que le mesurage du débit dans les rivières où le courant garde toujours la même direction. C'est la raison pour laquelle les corrections habituelles ne sont pas pleinement satisfaisantes. Étant donnée la variation continue de l'écoulement, il serait nécessaire de mesurer les vitesses de façon simultanée et continue, sur un grand nombre de verticales et pendant un cycle entier de marées; dans les grandes rivières à estuaires larges, notamment, le matériel nécessaire est considérable. Cette méthode se révèle d'emploi particulièrement difficile lorsque

- a) l'amplitude de la marée est grande;
- b) le trafic fluvial est très dense et peut affecter les mesures;
- c) la largeur du canal varie dans de larges limites pendant une seule marée;
- d) la direction moyenne de l'écoulement varie d'un angle considérable pendant le flux ou le reflux.

Il peut être souhaitable de procéder à des mesurages directs de la vitesse pour des raisons particulières, par exemple, étude des courants de densité, répartition des vitesses dans des zones déterminées.

6.2.2 Dans tous les autres cas, il vaut généralement mieux utiliser l'une des méthodes indirectes de cubage qui sont relativement faciles et rapides, notamment avec l'emploi des calculatrices et des ordinateurs électroniques modernes. Cependant, il est difficile de les utiliser sans une diminution de précision dans les cas suivants :

- a) si l'amplitude de la marée est faible;
- b) s'il y a un grand nombre de larges zones de déversement et si une variation importante du volume de marée ne correspond qu'à une faible variation du niveau de l'eau;
- c) si la topographie de l'estuaire à marée n'est pas bien définie par suite de larges bancs de boue ou de limon submergés pendant une partie du cycle de marée et susceptibles de changements fréquents;
- d) si le canal à marée est relié à d'autres canaux à marée, auquel cas il se produit généralement un écoulement résiduel d'un canal à l'autre.

7 MESURAGE DIRECT D'UN DÉBIT DE MARÉE

7.1 Choix et délimitation de l'emplacement

7.1.1 Reconnaissance préliminaire de l'emplacement

Il est souhaitable d'effectuer des mesurages approximatifs de la largeur, de la profondeur et des vitesses au cours d'une reconnaissance préliminaire, afin de décider si l'emplacement choisi convient et s'il répond aussi bien que possible aux conditions données en 7.1.2 et 7.1.3. Ces mesurages ont pour seul but de vérifier que les profils longitudinal et transversal du lit et la distribution des vitesses sont acceptables en vue d'une mesure de débit.

7.1.2 Choix de l'emplacement

La justesse dans la détermination du débit par la méthode d'exploration du champ des vitesses se trouve accrue :

- a) si le cycle de marée, au cours duquel s'effectue le mesurage, est périodique ou presque périodique (faible inégalité diurne);
- b) si les vitesses en tous points, notamment durant la période d'écoulement maximal, sont normales à la section de mesurage;
- c) si les courbes de distribution des vitesses le long des verticales ou des horizontales de mesurage sont régulières;
- d) si les dimensions géométriques de la section du chenal sont nettement définies.

En outre, les conditions les plus favorables à des mesures précises seront réunies si la section est située dans un bief rectiligne. Sur ces bases, l'emplacement doit donc être choisi de telle sorte que les prescriptions données en 7.1.3 soient autant que possible observées.

7.1.3 L'emplacement choisi doit, autant que possible, répondre aux conditions suivantes :

- a) le chenal à l'emplacement de jaugeage doit être rectiligne et de section uniforme;
- b) le tirant d'eau dans le bief choisi doit être suffisant pour assurer l'immersion effective des moulinets;
- c) la visibilité à l'emplacement de jaugeage doit être bonne; elle ne doit pas être gênée par des arbres ou d'autres obstacles;
- d) le lit du bief ne doit pas être sujet à des variations pendant la durée des mesurages;
- e) quel que soit le débit, l'écoulement doit être contenu dans un ou plusieurs chenaux déterminés ou dans un chenal de crue sans obstruction, ayant des limites suffisamment stables et des dimensions géométriques bien définies;
- f) l'emplacement doit être éloigné de tout coude ou de tout obstacle naturel ou artificiel susceptible d'engendrer une perturbation de l'écoulement;
- g) l'emplacement de jaugeage doit être débarrassé de végétation aquatique pendant la durée de mesurage;
- h) des mesurages dans un écoulement convergent, et plus encore dans un écoulement divergent, sur une section de mesurage oblique doivent être évités en raison de la difficulté d'évaluer l'erreur systématique pouvant en résulter;
- j) l'orientation du bief doit être telle que la direction de l'écoulement soit aussi perpendiculaire que possible à celle du vent dominant;
- k) il convient d'éviter les emplacements où tourbillons, courants de retour ou zones d'eau morte ont tendance à se développer.

Lorsque ces prescriptions ne peuvent pas être respectées (par exemple lorsque, dans des rivières alluviales, le lit varie pendant la durée des mesurages, ou lorsque, à marée haute, la rivière n'est pas confinée dans un chenal unique entre des digues), on doit choisir un emplacement de jaugeage tel que le changement de lit et/ou le débordement soit le plus faible possible. Les terrains inondables, s'ils ne peuvent être évités, doivent être de largeur minimale, aussi lisses que possible, sans chenal distinct et dépourvus de buissons et d'arbres.

7.1.4 Si, une fois le site choisi, des modifications inacceptables surviennent dans les caractéristiques du chenal, un autre emplacement de jaugeage doit être choisi.

7.1.5 L'emplacement, une fois choisi, doit être équipé de moyens de repérage de la section et de détermination du niveau.

7.1.5.1 La position de la section, perpendiculaire à la direction moyenne de l'écoulement, doit être définie sur les deux rives par des repères clairement visibles et immédiatement identifiables.

7.1.5.2 Des lectures doivent être effectuées sur un ou plusieurs limnimètres, et le zéro de ces échelles doit être relié par un nivellement précis à un système normalisé de repérage des niveaux.

Les emplacements choisis pour ces limnimètres doivent répondre, autant que possible, aux conditions suivantes :

- a) la lecture du limnimètre doit se faire à l'emplacement de jaugeage lui-même. Lorsqu'il y a lieu de craindre une différence de la cote du plan d'eau entre les deux rives, un limnimètre auxiliaire doit être installé sur la rive opposée. Ceci est particulièrement important pour le cas de très larges rivières; la moyenne des lectures faites aux deux limnimètres doit alors être utilisée comme niveau moyen du plan d'eau;

NOTE – Lorsque la différence de la cote du plan d'eau entre deux rives est très grande, les vitesses latérales provoquées peuvent causer des perturbations de grande portée aux mesures de vitesses. Dans de pareils cas, les corrections des vitesses peuvent ne pas être précises, et ceci devrait être si possible évité.

- b) en vue d'obtenir des renseignements relatifs aux influences météorologiques sur les marées durant les mesurages, la lecture du limnimètre doit se faire à l'extrémité de l'estuaire, en direction de la mer, et de préférence à un emplacement où des prévisions de marées sont disponibles;

- c) s'il existe des chenaux transversaux faisant communiquer plusieurs estuaires à marée, ou bien si le mesurage est effectué sur l'un de ces chenaux transversaux, la lecture du limnimètre doit se faire au point de jonction le plus proche de chaque côté de l'emplacement de jaugeage;

- d) une station de jaugeage supplémentaire doit être installée à un emplacement situé au-delà du point où la marée ne se fait plus sentir et pour lequel la relation hauteur/débit est connue, de manière à déterminer le débit amont.

7.2 Mesurage de l'aire d'une section

Le chapitre 6 de l'ISO 748 s'applique sans modification.

7.3 Mesurage de la vitesse

7.3.1 Mode opératoire

Afin de tracer la courbe complète de débit et de calculer le volume total du flux et du reflux, il est nécessaire de mesurer la répartition des vitesses sur chaque verticale pendant au moins le temps d'une marée complète, c'est-à-dire d'une haute mer à la haute mer suivante ou d'une basse mer à la basse mer suivante. Les intervalles de temps entre les mesurages successifs sur chaque verticale doivent être courts. Les mesurages doivent être commencés et continués au moins une demi-heure avant et après le renversement de la marée, de façon à pouvoir déterminer avec précision l'instant auquel la vitesse est nulle.

Dans les endroits où l'inégalité diurne est grande, les observations doivent être faites durant 26 h, soit une

journée complète de marées plus une demi-heure avant le renversement de la marée et une demi-heure après le cinquième renversement.

Pour permettre le tracé d'une courbe précise de la marée, on lit le niveau de l'eau à intervalles ne dépassant pas 10 min pendant tout le mesurage.

Le mode opératoire à suivre dépend en grande partie des conditions existantes :

a) Si l'on dispose d'un nombre suffisant de bateaux et d'appareils de mesurage, un bateau de mesurage doit être placé au niveau de chaque verticale et les répartitions des vitesses doivent être mesurées simultanément sur toutes les verticales pendant une marée complète.

b) Si le nombre de bateaux disponibles est limité, la localisation requise des verticales doit être marquée par des bouées fixes. Un bateau au moins doit demeurer immobile sur une verticale de référence pour effectuer une série d'observations pendant une période complète de mesurage, tandis qu'un ou deux bateaux doivent se déplacer aussi rapidement que possible d'une verticale à l'autre pour mesurer l'une après l'autre et dans le même ordre, les distributions des vitesses sur les verticales, à des intervalles de temps inférieurs à 1 h pour chaque verticale. Des graphiques des vitesses du courant doivent être établis pour chaque point d'observation et pendant la durée totale de celle-ci; ces graphiques doivent être basés sur les valeurs réelles obtenues lors des observations.

Tous ces mesurages étant faits simultanément pendant le même cycle de marées, il n'est pas nécessaire de les extrapoler à d'autres conditions de marée. De plus, des mesures de référence sont disponibles pour interpoler aux instants choisis.

c) Lorsque la forme de la courbe de la marée ne varie pas de façon significative d'un jour à l'autre, et que l'on dispose de deux bateaux au moins pour plusieurs jours, un bateau doit être ancré au milieu du courant sur une verticale appelée «verticale de référence» et mesurer sans interruption la distribution des vitesses sur cette verticale. L'autre bateau mesure pendant une marée complète sur une autre verticale, pendant la marée suivante sur la verticale suivante, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'une mesure soit obtenue en chaque point pendant une marée complète.

Cette méthode nécessite des corrections pour transposer les mesures à des conditions de marée choisies comme marée de référence en utilisant les résultats des mesurages faits sur la verticale de référence. Le paragraphe 7.4 donne une méthode de correction des observations faites sur des verticales secondaires par rapport aux observations faites sur la verticale de référence.

d) Lorsque le trafic fluvial est tel qu'il n'est pas possible d'ancrer un certain nombre de bateaux à la section de jaugeage, un bateau de mesurage doit être ancré sur une verticale pendant une marée complète et la distribution des vitesses sur la verticale doit être mesurée sans interruption pendant tout ce temps.

Cette opération doit être répétée sur la même verticale pendant des marées de différente amplitude, de même que sur les autres verticales pour une gamme complète d'amplitudes.

Aucune verticale de référence ne pouvant être prise, cette méthode nécessite également des corrections, qui sont données en 7.4.4.

Pour surmonter la plupart des difficultés causées par le débit pulsatoire, la méthode suivante peut être appliquée lorsqu'un bateau est ancré sur une verticale pendant une marée complète. Sur la verticale, des mesurages continus doivent être faits en immergeant des moulinets à différentes profondeurs. Des relevés doivent être faits sur les moulinets, sans les arrêter, à des intervalles successifs de 10 à 15 min, et la valeur moyenne doit être notée à l'instant milieu de chaque période. Le moulinet à la profondeur maximale peut être monté par l'intermédiaire d'un émerillon sur un trépied placé sur le fond du canal. Le moulinet le plus proche de la surface doit rester à une distance déterminée au-dessous de la surface de l'eau.

e) Si un écoulement oblique est inévitable, l'angle que fait la direction de l'écoulement avec la perpendiculaire à la section doit être mesuré et la vitesse mesurée doit être corrigée. Des instruments spéciaux ont été mis au point pour mesurer simultanément l'angle et la vitesse en un point.

Cependant, si ceux-ci ne sont pas disponibles, et s'il n'y a pratiquement pas de vent, on peut admettre que l'angle de l'écoulement le long d'une verticale est égal à celui que l'on observe en surface. Si le chenal est très profond, ou si le profil de son lit varie rapidement, cette hypothèse ne doit pas être admise sans vérifications.

si γ est l'angle mesuré avec la normale,

$$V_{\text{corrigée}} = V_{\text{mesurée}} \cos \gamma$$

7.3.2 Réduction au même instant des vitesses mesurées sur la verticale

Par suite de la variation rapide des vitesses, les mesures individuelles sur la verticale doivent être rapportées au même instant, afin d'obtenir la répartition correcte des vitesses sur la verticale. Les modes opératoires suivants peuvent être utilisés.

a) Les vitesses sont mesurées en un nombre convenable de points en allant de la surface au fond, puis du fond à la surface. La vitesse est donc mesurée deux fois en chaque point, excepté pour le point le plus bas où la mesure n'est prise qu'une seule fois. En prenant en chaque point la moyenne des deux mesures, on obtient la répartition correcte sur la verticale au moment du mesurage au point le plus bas.

b) Les vitesses sont mesurées en un nombre convenable de points sur la verticale en allant de la surface au fond. L'heure du début des mesurages sur la verticale est notée. L'intervalle de temps s'écoulant entre chaque

mesurage consécutif doit être à peu près égal. Après le mesurage au point le plus bas de la verticale, la vitesse à la surface est mesurée une seconde fois. Afin d'être rapportées au moment du premier mesurage à la surface sur la verticale, toutes les mesures doivent subir la correction suivante (la correction est négative si la vitesse croît) :

$$\text{Correction} = \frac{v_1 - v_{1r}}{v_{1r}} \times \frac{m_j - 1}{m} \times v_{m_j}$$

- v_1 est la première vitesse mesurée à la surface;
- v_{1r} est la seconde vitesse mesurée à la surface;
- m_j est le numéro de série du point sur la verticale;
- v_{m_j} est la vitesse à corriger;
- m est le nombre total de points sur la verticale (voir annexe A pour exemple).

NOTES

- 1 Il est nécessaire de mesurer la direction du courant, tout particulièrement là où il y a un coin salé.
- 2 Afin d'accélérer le mesurage de la répartition des vitesses sur une verticale, il est préférable de réduire le nombre de points par verticale, plutôt que de diminuer le temps de mesurage en chaque point de la verticale (pulsations).
- 3 Il n'est généralement pas possible d'utiliser de flotteurs dans les canaux à marée, et notamment s'il y a un coin salé important.
- 4 Pour extrapoler dans la zone située au-delà du dernier point de mesurage, on peut, après avoir porté sur un graphique les vitesses observées en des points voisins du lit, prolonger jusqu'à celui-ci la courbe lissée passant par ces points. Les vitesses à proximité du lit peuvent alors être lues sur ce graphique.

7.4 Calcul du débit

Suivant le mode opératoire adopté (voir 7.3.1), les méthodes suivantes peuvent être utilisées.

7.4.1 Lorsque les distributions des vitesses sur toutes les verticales sont mesurées simultanément, on peut utiliser les méthodes données au paragraphe 8.2 de l'ISO 748, particulièrement la méthode d'intégration des courbes profondeur-vitesse ou l'une des méthodes arithmétiques, pour calculer le débit du chenal aux instants successifs où l'on mesure les distributions des vitesses sur les verticales. Ces valeurs du débit peuvent être utilisées pour tracer la courbe du débit en fonction du temps et à partir de cette courbe, à l'aide d'un planimètre, le volume écoulé pendant tout le reflux (volume du reflux) et tout le flux (volume du flux) peut être déterminé.

7.4.2 Lorsque les mesurages ne sont pas faits simultanément, la courbe du débit est évaluée de la manière suivante :

La vitesse moyenne doit être estimée sur chaque verticale de la manière indiquée en 7.3.2. Pour chaque verticale, on trace une courbe de la vitesse moyenne en fonction du temps, et on peut lire sur cette courbe la vitesse moyenne au moment désiré.

Les méthodes mentionnées en 7.4.1, permettent d'évaluer le débit pour un certain nombre de moments, et de tracer la courbe du débit en fonction du temps.

On peut, à nouveau, déterminer, à l'aide d'un planimètre, le volume du reflux et le volume du flux.

7.4.3 Si l'on emploie la méthode du point de référence, avec deux bateaux (voir 7.3.1c)), on peut appliquer diverses méthodes de calcul du débit en ramenant toujours les grandeurs voulues à leur valeur pour une marée d'amplitude donnée, pendant la période de mesurage. Lorsque la marée n'est pas un harmonique simple ou lorsqu'elle varie de façon notable d'un jour à l'autre, les vitesses ne varieront pas nécessairement en fonction des seules amplitudes. Il faut donc adopter la méthode suivante :

Tracer, pour la verticale de référence, des graphiques représentant la variation de la vitesse moyenne sur cette verticale en fonction du temps, pendant chaque flux et reflux. Interpoler les valeurs de la vitesse moyenne sur une verticale pour chaque intervalle d'une demi-heure avant et après l'heure de la haute mer locale et, pour chaque intervalle de temps, porter ces valeurs en fonction de l'amplitude du flux ou du reflux correspondant.

On peut alors interpoler, à partir des graphiques obtenus, la vitesse moyenne sur chaque verticale à un moment donné, par rapport à l'heure de la haute mer locale pour un flux ou un reflux d'amplitude choisie.

Cependant, pour les marées qui sont un harmonique simple ou qui ne varient pas de façon notable d'un jour à l'autre, il est possible d'utiliser une méthode plus simple qui consiste à prendre des vitesses proportionnelles aux amplitudes de la marée. Les corrections sur la verticale de référence sont faites suivant le tableau 1, tandis que les corrections sur les verticales secondaires peuvent se faire dans un rapport proportionnel à celui des amplitudes.

TABLEAU 1 – Corrections sur la verticale de référence

Temps	Amplitude de la marée	Vitesse observée	Rapport des amplitudes	Vitesse corrigée
H - 1	6,0	3,0 F	6,5/6,0	3,2
H	6,0	1,0 F	6,5/6,0	1,1
H + 1	6,0	0	6,5/6,0	0
H + 2	7,0	1,0 E	6,5/7,0	0,9
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—

NOTES

- 1 L'amplitude de 6,5, moyenne d'un certain nombre de lectures, représente l'amplitude de la marée prise comme référence, l'amplitude de la basse à la haute mer étant 6,0 et l'amplitude de la haute à la basse mer étant 7,0.
- 2 F représente le flux, et E représente le reflux.
- 3 Les valeurs données dans le tableau sont soit en unités métriques, soit en unités foot-seconde.

À partir de ces vitesses interpolées, de l'espacement des verticales et de la profondeur à chaque verticale, on peut calculer le débit pour toutes les phases d'une marée et tracer une courbe du débit total.

7.4.4 Lorsqu'un seul bateau est disponible pour effectuer les mesurages (voir 7.3.1d)), on mesure la répartition des vitesses sur une verticale à la fois pendant un cycle complet de marée, et on répète ceci sur différentes verticales et pour différentes amplitudes de la marée; à partir des résultats obtenus sur chaque verticale, on peut alors porter la valeur de la vitesse moyenne chaque demi-heure avant et après la haute mer, en fonction de l'amplitude de marée correspondante.

Lorsque la marée varie de façon notable d'un jour à l'autre, on prépare des graphiques représentant les variations de la vitesse moyenne sur une verticale en fonction du temps et on évalue, conformément à 7.4.3, la vitesse moyenne sur toutes les verticales à un moment donné, par rapport à l'heure locale de haute mer pour un flux ou un reflux d'amplitude choisie.

À partir de ces vitesses moyennes, de l'espacement des verticales et de la profondeur à chaque verticale, on peut calculer le débit pour toutes les phases d'une marée en lisant le graphique pour une amplitude de marée donnée, et tracer une courbe de débit total.

7.4.5 Afin d'obtenir la courbe de débit total dans les canaux à marée lorsqu'on utilise des flotteurs, le mode opératoire suivant doit être utilisé.

Des courbes de répartition des vitesses obtenues pour chaque élément de surface libre, on peut déduire des

courbes de débit partiel pour l'élément considéré. L'addition de ces courbes de débit partiel donne la courbe de débit total à partir de laquelle on peut, au moyen d'un planimètre, calculer les volumes de flux et de reflux.

Cependant, pour les raisons indiquées en 6.1, cette méthode ne donne qu'un résultat très approximatif.

7.4.6 Lorsqu'on peut estimer que les vitesses sont proportionnelles aux amplitudes de marée d'un jour à l'autre, le mode opératoire plus simple indiqué dans le tableau 2 peut être utilisé.

7.5 Observations supplémentaires à relever de préférence simultanément avec l'observation de la vitesse

Mesurage de la direction et de la vitesse du vent. Il est important de connaître la direction et la vitesse du vent. Utiliser à cet effet une girouette ordinaire et un anémomètre pour s'assurer que les mesures de vitesse ne seront pas affectées.

8 MESURAGE DIRECT D'UN DÉBIT DE MARÉE PAR LA MÉTHODE DU CANOT MOBILE

Cette méthode du canot mobile pouvant s'utiliser indifféremment pour les écoulements en régime stationnaire ou non stationnaire, elle sera traitée dans un document ISO distinct (en préparation).

TABLEAU 2

Temps	Verticale A – Jour d_1				Verticale B – Jour d_2			
	Amplitude de la marée	Vitesse observée	Rapport des amplitudes	Vitesse corrigée	Amplitude de la marée	Vitesse observée	Rapport des amplitudes	Vitesse corrigée
$H - 1$	6,0	3,0 F	6,5/6,0	3,2	5,0	2,4 F	6,5/5,0	3,1
H	6,0	1,0 F	—	1,1	5,0	0,9	—	1,2
$H + 1$	6,0	0	—	0	5,0	0	—	0
$H + 2$	7,0	1,0 E	6,5/7,0	0,9	5,8	0,8 E	6,5/5,8	0,9
—	—	—	—	—	—	—	—	—

NOTES

1 L'amplitude de 6,5, moyenne d'un certain nombre de lectures, représente l'amplitude de la marée, prise comme référence, l'amplitude de la basse à la haute mer étant 6,0 et celle de la haute à la basse mer étant 7,0, pour le jour d_1 et ces amplitudes étant respectivement 5,0 et 5,8 pour le jour d_2 .

2 E représente le reflux, et F représente le flux.

3 Les valeurs données dans le tableau peuvent être soit en unités métriques, soit en feet et secondes.

4 Les méthodes de réduction données en 7.4.3 et 7.4.4 ne doivent s'appliquer qu'aux parties du courant observé soumises à l'action de la marée. Toutes les vitesses de même direction que le flux sont considérées comme positives, toutes les vitesses de même direction que le reflux sont considérées comme négatives de telle façon que le signe du résultat indique s'il y a un écoulement net en direction du flux ou du reflux. Les méthodes de réduction s'appliquent en premier lieu aux vitesses de la marée; les vitesses corrigées du flux et du reflux sont ensuite ajoutées algébriquement au courant ne provenant pas de la marée.

5 Les méthodes données en 7.4.3 et 7.4.4 ne doivent pas être utilisées lorsque la densité de l'eau à l'emplacement de jaugeage varie en fonction du temps, ou que l'on observe un écart notable par rapport à la forme de la marée astronomique par suite des conditions météorologiques.