
NORME INTERNATIONALE



3455

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

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Étalonnage des moulinets à élément rotatif en bassins découverts rectilignes

Liquid flow measurement in open channels — Calibration of rotating-element current-meters in straight open tanks

(standards.iteh.ai)

Première édition — 1976-02-01

[ISO 3455:1976](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/42475e1-088a-4fe9-9d37-6c539f73218b/iso-3455-1976>

CDU 532.57 : 627.133

Réf. n° : ISO 3455-1976 (F)

Descripteurs : écoulement en canal, mesurage de débit, matériel d'essai, débitmètre, étalonnage.

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 3455 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 février 1974.

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

Afrique du Sud, Rép. d'	Espagne	Roumanie
Allemagne	France	Royaume-Uni
Australie	Inde	Suisse
Belgique	Norvège	Tchécoslovaquie
Bulgarie	Nouvelle-Zélande	Turquie
Chili	Pays-Bas	U.S.A.

Aucun Comité Membre n'a désapprouvé le document.

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Étalonnage des moulinets à élément rotatif en bassins découverts rectilignes

1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme Internationale spécifie le mode opératoire à suivre pour l'étalonnage des moulinets, c'est-à-dire la détermination expérimentale de la relation qui existe entre la vitesse du liquide et la vitesse de rotation de l'élément rotatif. Elle spécifie également le type de bassin et de matériel utilisés et le mode de présentation des résultats.

Le mode opératoire ne tient pas compte de la différence qui peut éventuellement exister entre le comportement d'un moulinet se déplaçant lui-même dans une eau immobile et celui d'un moulinet fixe soumis à un écoulement turbulent.

2 DÉFINITIONS

Dans le cadre de la présente Norme Internationale, les définitions données dans l'ISO 772, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Vocabulaire et symboles*, sont applicables.

3 PRINCIPE DE L'ÉTALONNAGE

On déplace le moulinet en eau morte dans un bassin rectiligne de section uniforme, à un certain nombre de vitesses constantes. On mesure la vitesse du chariot de remorquage et la vitesse de rotation du rotor du moulinet. Les deux séries de valeurs sont liées par une ou plusieurs équations dont les limites d'application sont indiquées.

4 CARACTÉRISTIQUES DE CONSTRUCTION DES STATIONS D'ÉTALONNAGE

4.1 Dimensions du bassin d'étalonnage

Les dimensions du bassin, le nombre et la position relative des moulinets dans sa section peuvent affecter les résultats des essais.

4.1.1 Longueur

La longueur nécessaire d'un bassin d'étalonnage est fixée par la longueur des quatre sections qui le constituent, à savoir : la section d'accélération, la section de stabilisation, la section de mesurage et la section de freinage.

La longueur des sections d'accélération et de freinage dépend de la conception du chariot et de sa vitesse maximale de remorquage dans le bassin. La longueur

nécessaire de la section de freinage tient compte des impératifs de sécurité.

La longueur de la section de mesurage doit être telle que l'erreur d'étalonnage, qui se compose des incertitudes sur la mesure du temps, de la distance parcourue et de la vitesse de rotation, ne dépasse à aucune vitesse la tolérance requise. La longueur nécessaire dépendra donc du type de moulinet étalonné, du mode de production et de transmission des signaux et de la méthode d'étalonnage.

Par exemple, si la précision de mesurage du temps, tant sur le mesurage de la distance parcourue par le chariot que sur le nombre de tours, est de 0,01 s, afin de limiter l'erreur sur le mesurage du temps à 0,1 % pour un intervalle de confiance de 95 %, la durée de l'essai doit être de 10 s au moins à la vitesse maximale. Si la vitesse maximale est de 6 m/s, la section de mesurage du bassin doit être longue de 60 m, la longueur totale du bassin doit être de 100 m environ dont 20 m réservés à l'accélération et à la stabilisation et 20 m au freinage.

4.1.2 Profondeur et largeur

La profondeur du bassin peut avoir une influence non négligeable sur les résultats d'essai, notamment lorsque la vitesse de remorquage coïncide avec la vitesse de propagation de l'onde fondamentale. L'effet de la profondeur du bassin sur cette vitesse critique, v_c , est donné par l'équation

$$v_c = \sqrt{gd}$$

où

g est l'accélération due à la pesanteur;

d est la profondeur de l'eau.

La crête de l'onde produite par le moulinet et ses éléments de fixation qui se déplacent avec l'instrument provoque une augmentation de la hauteur de la section mouillée et, par suite, compte tenu de l'équation de continuité, une diminution de la vitesse relative. Ce phénomène connu sous le nom de «pointe d'Epper» peut provoquer des erreurs d'étalonnage dans une plage étroite de vitesse comprise dans l'intervalle $0,5 v_c - 1,5 v_c$. L'importance de l'erreur due à la pointe d'Epper dépend de la taille du ou des moulinets et du matériel de suspension par rapport à la section transversale du bassin. Elle peut être négligeable lorsqu'on étalonne un moulinet très petit.

La profondeur du bassin doit donc être choisie de manière à correspondre aux limites de vitesse maximale des instruments à étalonner. On doit veiller à ce que les plus grandes vitesses d'étalonnage soient réalisées avant l'interférence ou bien soient suffisamment au-dessus d'elle pour permettre le franchissement de la zone critique sans extrapolation.

La largeur du bassin est un facteur important parce que la pointe d'Epper est plus prononcée dans un bassin étroit. La largeur limite également le nombre d'instruments qui peuvent être étalonnés simultanément et a un effet sur les caractéristiques de tranquillisation (temps mis par l'eau pour redevenir immobile).

Par exemple, lorsqu'un moulinet normal à suspension par perche est étalonné dans un bassin de largeur 1,83 m dans lequel la profondeur d'eau est de 1,83 m, la pointe d'Epper est à son maximum à une vitesse de 4 m/s environ ($\sqrt{9,81 \times 1,83}$) et correspond à 0,3 % environ. L'importance de cet effet s'atténue de chaque côté de la vitesse critique mais est perceptible aux vitesses comprises entre 3 et 5 m/s.

Les caractéristiques de certains bassins d'étalonnage sont données dans l'annexe.

4.2 Chariot d'étalonnage

Pour déplacer le moulinet dans l'eau, à des vitesses connues et précises, on le suspend à un chariot qui peut se déplacer sur des rails (ou une voie) qui doivent être rigoureusement parallèles au bassin pris dans son sens longitudinal et à la surface de l'eau dans ce bassin, les deux rails utilisés étant eux-mêmes parallèles.

Il est indispensable que les rails soient rectilignes et que les rails et les roues du chariot soient exempts de toute irrégularité pour empêcher les à-coups dans le mouvement du chariot et l'apparition de vibrations qui peuvent se transmettre au moulinet et affecter l'étalonnage.

On utilise communément deux types de chariots, à savoir :

- a) le chariot remorqué qui est mû le long des rails par l'intermédiaire d'un câble entraîné par un moteur de vitesse constante placé à l'extérieur du chariot mobile.

Le chariot remorqué peut être de construction légère, d'où l'avantage d'une accélération et d'un freinage rapides, mais l'élasticité du câble de remorquage peut provoquer des irrégularités dans la marche du chariot.

- b) le chariot autopropulsé qui se meut le long des rails grâce à un moteur placé à l'intérieur.

Le chariot autopropulsé est de construction plus lourde puisqu'il doit supporter le moteur d'entraînement, ce qui augmente son inertie et contribue à aplanir les irrégularités de marche.

4.3 Appareillage de mesure

L'étalonnage d'un moulinet exige le mesurage simultané des trois grandeurs suivantes :

- a) la distance parcourue par le chariot;

- b) le nombre d'impulsions émises par le moulinet;

- c) le temps.

La vitesse de remorquage est calculée d'après le mesurage simultané de la distance et du temps, et la vitesse de rotation est obtenue par le mesurage simultané du nombre d'impulsions et du temps.

4.3.1 Distance

Le mesurage de la distance peut être entaché d'une certaine incertitude qui ne doit pas être supérieure à 0,1 % pour un intervalle de confiance de 95 %. Cette précision peut être obtenue selon diverses méthodes. Deux des plus couramment utilisées sont les suivantes :

- a) la fixation, à intervalles réguliers sur toute la longueur du bassin d'étalonnage, de repères qui actionnent des transmetteurs mécaniques ou optiques d'impulsions fixés au chariot;

- b) l'utilisation de roues de mesurage pourvues de transmetteurs mécaniques photoélectriques d'impulsions qui sont tirées par le chariot le long du rail.

4.3.2 Temps

Le mesurage du temps peut être entaché d'une certaine incertitude qui ne doit pas être supérieure à 0,1 % pour un intervalle de confiance de 95 %. Cette précision peut être obtenue selon diverses méthodes. Deux des plus couramment utilisées sont les suivantes :

- a) une horloge donnant une impulsion de contact après une ou plusieurs secondes. Ces impulsions sont généralement enregistrées sur un graphique ou sur une bande magnétique avec les impulsions du moulinet et celles qui correspondent aux distances. Le temps correspondant à un nombre entier d'impulsions du moulinet se détermine généralement par interpolation des impulsions de temps.

- b) des horloges électroniques capables de mesurer des fractions de seconde permettent d'enregistrer et d'afficher un nombre défini d'intervalles de distance et un nombre correspondant d'impulsions du moulinet.

4.3.3 Impulsions du moulinet

Le mesurage de la vitesse de rotation du moulinet peut être entaché d'une certaine incertitude qui ne doit pas être supérieure à 0,1 % pour un intervalle de confiance de 95 %.

Les impulsions du moulinet peuvent être comptées ou enregistrées. Pour mesurer le nombre de tours du moulinet dans un temps donné, il est important d'effectuer le mesurage à des points identiques de l'impulsion de celui-ci.

Si l'on procède à l'enregistrement, la vitesse de l'enregistreur doit être réglable de manière à faire correspondre la séparation de l'impulsion du moulinet avec la vitesse du chariot et la précision de mesurage désirée.

4.4 Matériel auxiliaire

Pour accroître l'efficacité d'une station d'étalonnage de moulinets, on peut utiliser un certain nombre de matériels auxiliaires.

- a) Matériels de filtration, de dosage, d'épuration qui nettoient l'eau et empêchent la prolifération des algues.
- b) Des plages d'expansion, dispositifs de tranquillisation, ou autres aménagements similaires réduisant la réflexion des perturbations de l'eau sur les parois extrêmes du bassin. Des rideaux transversaux peuvent également être installés à intervalles réguliers le long du bassin. Ceux-ci sont abaissés au fond du bassin avant le début de chaque cycle.
- c) Lorsque l'installation est commandée d'une salle de contrôle, des dispositifs doivent être prévus pour vérifier qu'un moulinet à suspension par câble est correctement aligné au commencement de l'essai et qu'il ne se balance pas au début des mesurages. Un circuit fermé de télévision est utile à cet effet, ainsi que pour observer le comportement des moulinets à des vitesses proches de leur vitesse minimale de réponse.
- d) Un thermomètre pour indiquer la température de l'eau dans le bassin.

5 MÉTHODE D'ÉTALONNAGE

5.1 Instructions pour l'étalonnage

Les instructions pour l'étalonnage doivent comporter

- a) les limites de vitesses d'étalonnage. Pour fixer la limite maximale, on veillera à ce que les derniers points de mesurage se situent nettement en deçà ou au-delà de la zone où se produit la pointe d'Epper;
- b) des précisions relatives aux moyens de suspension, comme par exemple le profil et les dimensions de la perche, le mode de fixation des câbles électriques, le type de câble de suspension, le type et la masse du poids de lestage, la position du moulinet par rapport à son support, etc.;
- c) pour les moulinets à chambre d'huile, la fourniture avec les instruments ou les spécifications exactes de l'huile utilisée lors des mesurages;
- d) des renseignements quant aux documents d'étalonnage requis : équations, graphiques ou tableaux d'étalonnage, unités dans lesquelles les résultats doivent être exprimés, etc.;
- e) des prescriptions particulières, par exemple l'étalonnage du moulinet dans l'état où il est livré et à nouveau après une réparation éventuelle.

5.2 Suspension du moulinet

On doit porter attention aux points suivants :

5.2.1 Avant l'immersion du moulinet dans le liquide, on doit vérifier sa propreté, sa lubrification et son fonctionnement mécanique et électrique.

5.2.2 Le mode de fixation du moulinet doit correspondre aux instructions reçues, c'est en général le même que celui utilisé pour les mesurages *in situ*. Par exemple, si lors des mesurages le moulinet est fixé près de l'extrémité inférieure de la perche, il doit être monté de la même manière pour l'étalonnage. Dans le cas contraire, le moulinet doit être monté à une distance suffisante de l'extrémité de la perche pour garantir l'élimination de tous les effets en provenant.

Si le câble électrique de transmission du signal n'est pas incorporé à la perche, il faut utiliser pour l'étalonnage le même câble et le même mode de fixation. On notera que les câbles oscillants peuvent avoir une influence notable sur le résultat de l'étalonnage.

5.2.3 Le moulinet doit être placé à une profondeur suffisante au-dessous de la surface du liquide pour que l'influence de la surface soit négligeable. Pour un moulinet à hélice, une profondeur (comptée de la surface du liquide à l'axe de rotation) égale à deux fois le diamètre de l'hélice est en général suffisante. Un moulinet à coupelles doit être immergé à une profondeur minimale de 0,3 m ou à une fois et demie la hauteur du rotor, selon la valeur la plus grande.

À des vitesses élevées de remorquage, il peut y avoir des décollements de l'écoulement derrière certains profils de perche qui provoquent une diminution de la vitesse de rotation comme si l'on utilisait une perche plus épaisse. Cette perturbation peut souvent s'éliminer par l'augmentation de la profondeur d'immersion ou le carénage de la perche au niveau de la surface de l'eau.

5.2.4 Si l'on étalonne plusieurs moulinets simultanément, il faudra veiller à ce qu'il ne se produise pas d'interférence entre eux ou à ce que le montage soit reproduit exactement de façon que les interférences entre les moulinets soient les mêmes lors de l'étalonnage et lors des mesurages.

5.2.5 Lorsque le moulinet est fixé sur une perche, il doit lui être lié de façon suffisamment rigide pour qu'on soit assuré qu'il reste parallèle à la direction du mouvement. Un moulinet suspendu à un câble doit être aligné sur la direction du mouvement au début de chaque parcours.

5.2.6 Si le moulinet est d'un type susceptible de pivoter dans un plan vertical, son équilibre doit être vérifié et, si besoin est, réglé avant le début des essais d'étalonnage.

5.2.7 On doit veiller à ce que les vibrations du chariot (sensibles surtout aux faibles vitesses) et celles de la perche (sensibles surtout aux grandes vitesses) soient suffisamment faibles pour ne pas avoir d'influence sur la vitesse de rotation du moulinet.

5.3 Exécution de l'étalonnage

5.3.1 Vitesse minimale de réponse

La vitesse minimale de réponse est déterminée en augmentant progressivement la vitesse du chariot à partir de

l'arrêt jusqu'à ce que l'élément rotatif tourne à une vitesse constante.

On peut, à titre indicatif, donner les valeurs moyennes suivantes :

Vitesse	Temps de tranquillisation
m/s	min
0,5	10
2	15
5	25
8	30

5.3.2 Nombre de points d'étalonnage

Des mesurages doivent être faits à partir de la vitesse minimale de réponse à un nombre suffisant de vitesses de remorquage pour permettre de définir avec précision l'étalonnage du moulinet. Il sera généralement nécessaire de prévoir des intervalles de vitesse plus serrés dans le bas de la gamme des vitesses puisque c'est dans cette gamme qu'on observe en général les erreurs les plus grandes en pourcentage. Par exemple, on prévoira des intervalles de 0,10 m/s dans le bas de la gamme, de 0,25 m/s dans le milieu de la gamme et de 0,5 m/s dans le haut de la gamme.

Conformément aux pratiques usuelles d'un certain nombre de stations d'étalonnage, le nombre total de points de mesurage pourra être de l'ordre de

- 10 à 12 pour un étalonnage jusqu'à 2 m/s;
- 12 à 16 pour un étalonnage jusqu'à 5 m/s;
- 16 à 20 pour un étalonnage jusqu'à 8 m/s.

5.3.3 Temps de tranquillisation

L'eau du bassin doit être relativement tranquille avant chaque cycle d'essais, et la période d'attente doit être choisie de sorte que les vitesses résiduelles soient négligeables en comparaison de la vitesse d'essai suivante. La durée de tranquillisation de l'eau dépend des dimensions du bassin, de l'emploi de dispositifs d'amortissement, de la vitesse de l'essai antérieur, de la taille et de la forme des moulinets et du matériel de suspension immergé dans l'eau.

5.4 Évaluation et présentation des résultats

5.4.1 Détermination des vitesses de translation et de rotation

Si l'on utilise un appareillage de comptage électronique tel que décrit en 4.3.2 b), la vitesse du chariot v et la vitesse de rotation du moulinet n sont obtenues directement en divisant la distance et le nombre de tours par le temps.

Si l'on utilise un enregistrement sur graphique tel que décrit en 4.3.2 a), l'évaluation de v et de n peut se faire de l'une des deux manières suivantes :

a) On mesure sur la bande d'enregistrement, en millimètres, les longueurs correspondant à un certain nombre d'impulsions relatives au moulinet, à la distance et au temps, comme indiqué à la figure 1.

Si t est le nombre de secondes représenté sur la bande par la longueur l_1 , la distance l entre un nombre entier de repères de distance sur le côté du bassin est représentée par la longueur l_2 , et si un nombre entier de tours est représenté par la longueur l_3 , la vitesse moyenne du chariot,

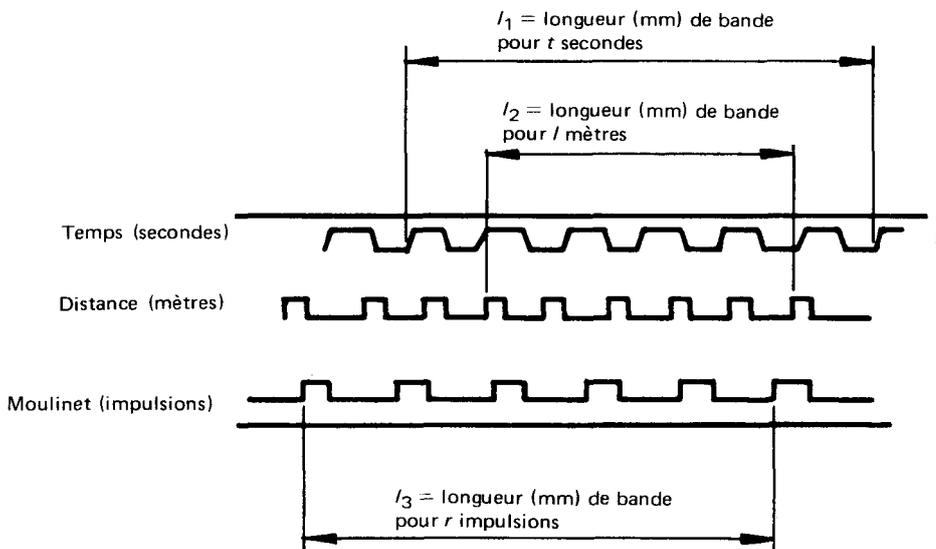


FIGURE 1

v (m/s), et la vitesse moyenne de rotation du rotor, n (tr/s), peuvent se calculer à l'aide des formules suivantes :

$$v = \frac{l \times l_1}{t \times l_2} \text{ (m/s)}$$

$$n = \frac{r \times l_1}{t \times l_3} \text{ (tr/s)}$$

b) Le début et la fin des segments d'enregistrement correspondant à un nombre donné d'impulsions relatives au moulinet, d'une part, et à la distance, d'autre part, sont projetés sur la piste d'enregistrement du temps, comme indiqué à la figure 2. L'interpolation entre deux signaux de temps permet de déterminer la durée exacte correspondant au nombre de tours du rotor et à la distance choisies. Cette méthode est particulièrement appropriée au cas de bandes de grande longueur.

Si t_1 est le temps (nombre d'intervalles complets et de fractions d'intervalle de temps, multiplié par la durée d'un intervalle) correspondant à N tours de rotor du moulinet, et si t_2 est le temps (calculé de la même façon) correspondant à un parcours de longueur l , on obtient

- vitesse moyenne de rotation du moulinet :

$$n = \frac{N}{t_1} \text{ (tr/s)}$$

- vitesse moyenne du chariot :

$$v = \frac{l}{t_2} \text{ (m/s)}$$

5.4.2 Diagrammes d'étalonnage (voir figure 3)

Les points d'étalonnage sont habituellement portés sur un graphique ayant comme ordonnée la vitesse v et comme abscisse la vitesse de rotation du rotor n . Afin d'améliorer au maximum la précision des données du graphique sans avoir à choisir une trop grande échelle, on choisit un pas théorique k du rotor à proximité de la courbe d'étalonnage et l'on ne reporte, sur la grande échelle, que les écarts $\Delta v = v - kn$ par rapport à cette droite auxiliaire. On peut,

avec une précision convenable, remplacer la courbe Δv établie en fonction de n par les droites A, B et C dont l'équation est facile à calculer.

5.4.3 Équations d'étalonnage

Outre les diagrammes ci-dessus, le certificat d'étalonnage doit indiquer les équations des droites auxquelles la courbe d'étalonnage peut être assimilée, en précisant les intervalles des valeurs de n dans lesquels chacune d'elles est applicable.

Ces équations sont généralement données sous la forme

$$v = a + bn$$

où

v est la vitesse, en mètres par seconde;

n est la vitesse de rotation du rotor, en tours par seconde;

a et b sont les constantes pour chacune des équations déterminées à partir de la courbe de la figure 3.

On peut éventuellement mettre ces équations sous la forme

$$v = a + b \frac{N}{t}$$

lorsqu'il est commode de faire apparaître le temps t correspondant à un nombre déterminé N de tours du rotor.

5.4.4 Tables d'étalonnage

On peut établir des programmes d'ordinateurs où l'on introduit les constantes des équations d'étalonnage et leurs limites d'application. Les programmes peuvent être conçus de manière à donner des tables appropriées aux techniques d'étalonnage utilisées. On peut donner la vitesse tous les 0,01 tr/s, ou pour un nombre entier de tours en un temps prédéterminé, ou encore en fonction du temps correspondant à un nombre prédéterminé de tours.

On peut encore préparer des tables d'étalonnage à l'aide d'un ordinateur travaillant directement sur les valeurs expérimentales de v et de n . Cette dernière méthode ne se justifie que si la forme de la relation entre v et n est bien connue ou si l'hypothèse des limites fixes d'application pour chaque facteur est justifiée.

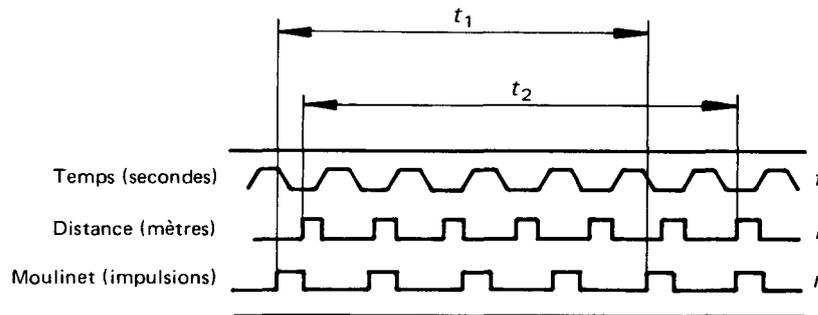


FIGURE 2

Le bénéfice retiré de l'emploi d'un ordinateur peut être perdu si, par exemple, une valeur expérimentale fautive de v ou de n dans un essai donné, qui aurait normalement été détectée au cours de l'établissement des équations et qui aurait été rejetée, ou pour laquelle l'essai aurait été refait, passe dans l'ordinateur sans qu'on s'en aperçoive. De telles fausses valeurs peuvent être identifiées et éliminées en introduisant, dans le programme de l'ordinateur, les valeurs limites des écarts des points individuels par rapport à la courbe d'étalonnage.

5.4.5 Certificat d'étalonnage

Outre les éléments mentionnés en 5.4.2, 5.4.3 et 5.4.4, le certificat d'étalonnage doit indiquer les renseignements suivants :

- a) le nom et l'adresse de la station d'étalonnage;
- b) la date de l'étalonnage;
- c) le numéro de l'étalonnage;
- d) la marque et le type du moulinet;
- e) le numéro de série du moulinet et de chacun de ses rotors;
- f) le détail du mode de fixation utilisé;
- g) la position du moulinet dans la section transversale du bassin;
- h) l'indication de la vitesse minimale de réponse;
- i) les limites d'étalonnage;
- j) toutes remarques nécessaires, par exemple : indication des modifications subies par le moulinet, montage de pièces de rechange;
- k) la température de l'eau lors de l'étalonnage;
- l) la viscosité de l'huile des roulements;
- m) une indication de la précision de l'équation d'étalonnage, qui inclut une évaluation de la précision de la technique de base de l'étalonnage;
- n) la signature du responsable de l'équipe de la station d'étalonnage.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 3455:1976

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4247f5e1-088a-4fe9-9d37-6c539f73218b/iso-3455-1976>

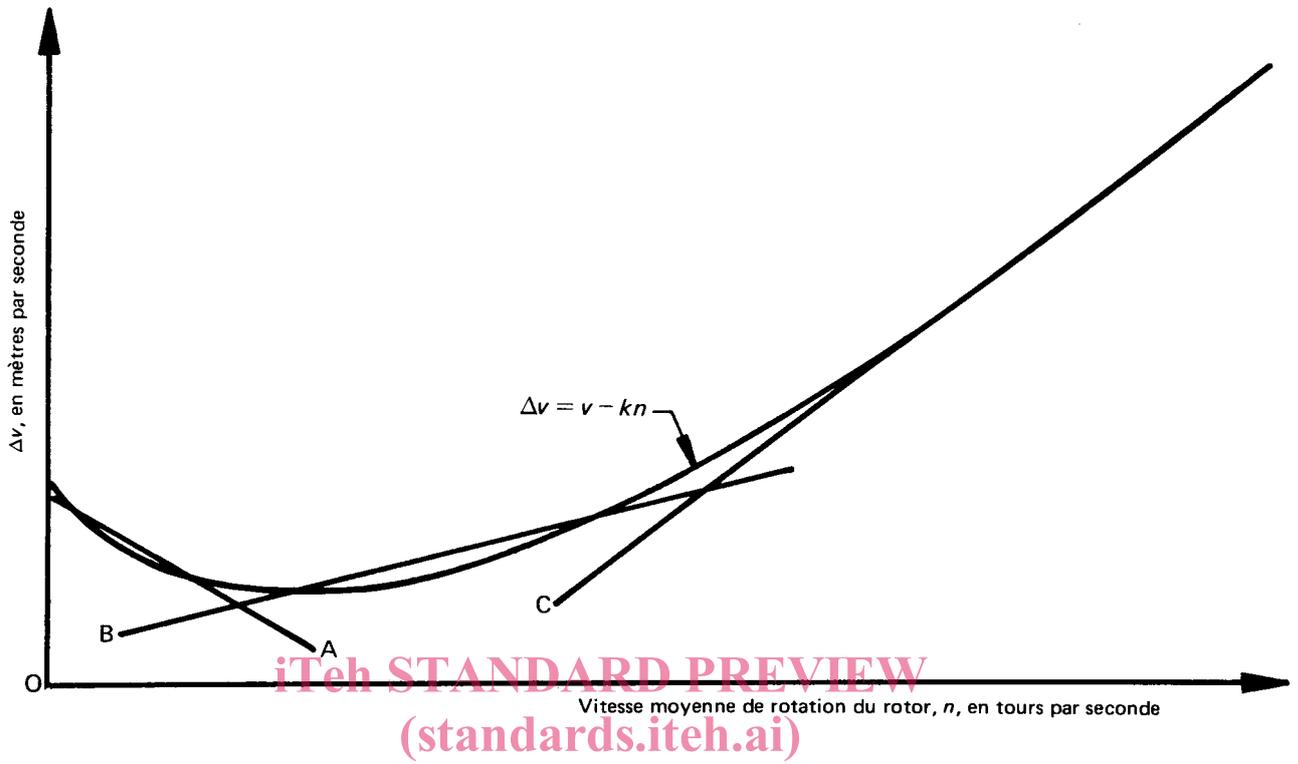


FIGURE 3 A
 ISO 3455:1976
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4247f5e1-088a-4fe9-9d37-6c539f73218b/iso-3455-1976>

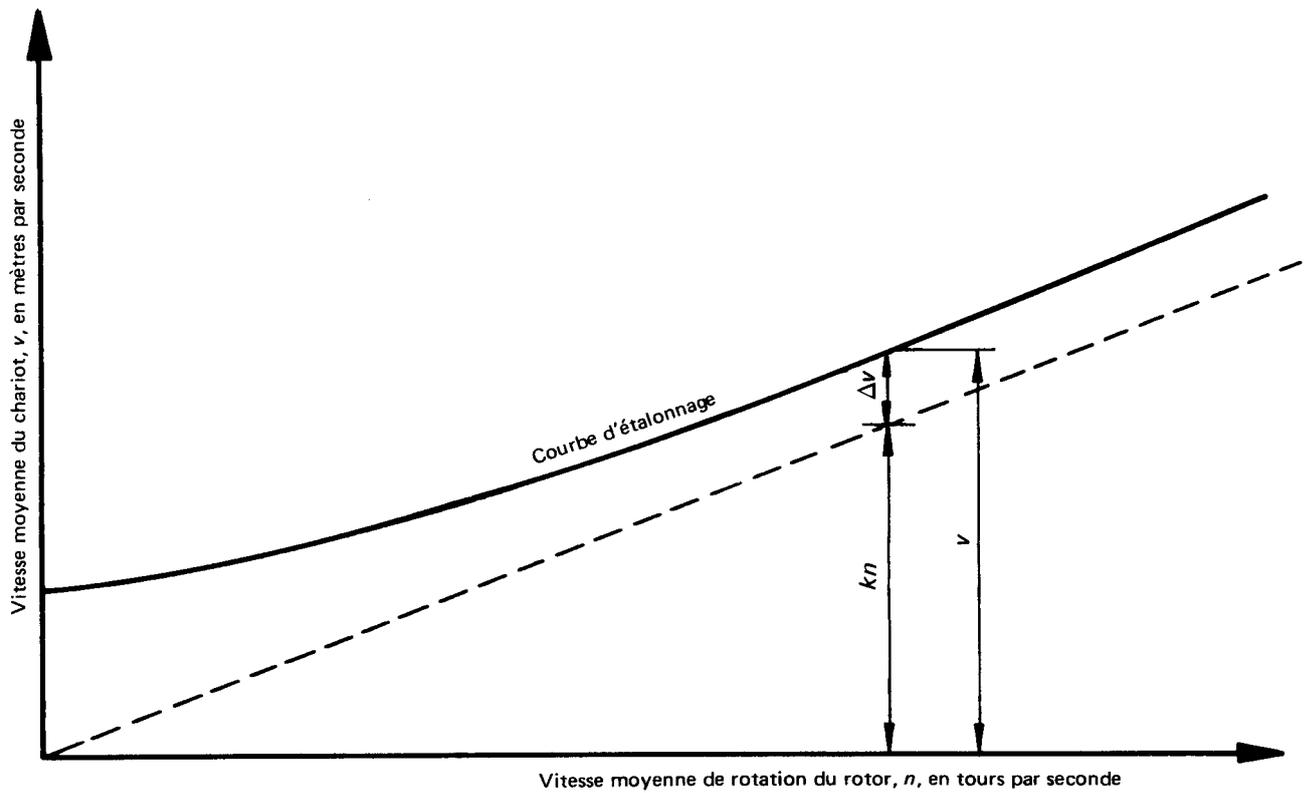


FIGURE 3 B