

NORME  
INTERNATIONALE

ISO  
4377

Deuxième édition  
1990-02-15

---

---

**Mesure de débit des liquides dans les canaux  
découverts — Déversoirs en V ouvert**

*Liquid flow measurement in open channels — Flat- V weirs*  
**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 4377:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ef411ec2-be17-4bcc-82f1-8569a4a680dc/iso-4377-1990>



Numéro de référence  
ISO 4377 : 1990 (F)

## 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 en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

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. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 4377 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*. [ISO 4377:1990](#)

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 4377 : 1982), dont elle constitue une révision technique.

Les annexes A et B font partie intégrante de la présente Norme internationale. L'annexe C est donnée uniquement à titre d'information.

© ISO 1990

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation  
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

# Mesure des débits de liquides dans les canaux découverts — Déversoirs en V ouvert

## 1 Domaine d'application

**1.1** La présente Norme internationale traite de la mesure de débit dans les rivières et chenaux artificiels à régime permanent ou à variation lente, à l'aide de déversoirs en V ouvert. Le déversoir en V ouvert normalisé est une structure de contrôle dont la crête a la forme d'un «V» aplati lorsqu'on le regarde dans le sens de l'écoulement.

**1.2** Le déversoir peut être utilisé pour mesurer aussi bien des débits modulaires (dénoyés) que des débits noyés. Dans un régime modulaire (dénoyé), le débit ne dépend que du niveau d'eau amont et une seule mesure de la hauteur de charge suffit. Dans un régime noyé, le débit dépend à la fois des niveaux amont et aval et deux mesures de charges séparées sont nécessaires. Avec un déversoir en V ouvert normalisé, les deux hauteurs à mesurer sont

- la hauteur de charge amont,
- la hauteur de charge dans la zone de décollement qui se forme juste en aval du seuil.

## 2 Généralités

**2.1** Le déversoir normalisé est de profil triangulaire et présente une pente amont de 1 (vertical) : 2 (horizontal) et une pente aval de 1:5. La pente transversale doit se situer entre 0 et 1:10 et, quand elle est zéro, le déversoir devient un seuil à profil triangulaire à deux dimensions (voir ISO 4360).

**2.2** Le déversoir en V ouvert peut mesurer une gamme assez large de débits et a l'avantage d'une grande sensibilité aux faibles débits. Son fonctionnement, en régime noyé, minimise les remous à très forts débits. Les déversoirs en V ouvert ne doivent pas être utilisés dans les rivières à forte déclivité, notamment lorsqu'elles charrient une forte charge en sédiments.

**2.3** L'ISO 8368 donne les critères de choix des déversoirs et des canaux jaugeurs pour le mesurage du débit d'eau dans les canaux découverts.

**2.4** Aucune limite supérieure n'est spécifiée en ce qui concerne la taille de cette structure. Les gammes de débit pour trois déversoirs caractéristiques sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 — Gammes de débit pour trois déversoirs en V ouvert caractéristiques

Élévation de la crête au-dessus du lit m	Pente transversale de la crête	Largeur m	Gamme de débit m <sup>3</sup> /s
0,2	1:10	4	0,015 à 5
0,5	1:20	20	0,03 à 180 (à une hauteur de charge maximale de 3 m)
1,0	1:40	80	0,055 à 630 (à une hauteur de charge maximale de 3 m)

## 3 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur cette Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 772 : 1988, *Mesurage du débit des liquides dans les canaux découverts — Vocabulaire et symboles.*

ISO 5168 : 1978, *Mesure de débit des fluides — Calcul de l'erreur limite sur une mesure de débit.*

## 4 Définitions et symboles

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions données dans l'ISO 772 s'appliquent. Une liste complète de symboles avec les unités de mesure correspondantes est donnée dans l'annexe A.

## 5 Installation

### 5.1 Choix de l'emplacement

**5.1.1** Le déversoir doit être situé dans un tronçon de chenal rectiligne, dépourvu d'obstructions locales, de rugosités ou d'inégalités du lit.

**5.1.2** Il faut procéder à une étude préliminaire des conditions physiques et hydrauliques de l'emplacement proposé pour vérifier qu'il est conforme (ou peut être construit ou rendu conforme) aux conditions nécessaires au mesurage de débit au moyen du déversoir. On veillera en particulier aux points suivants dans le choix de l'emplacement :

- a) existence d'une longueur suffisante du chenal, à section droite régulière (voir 5.2.2.2);
- b) uniformité de la répartition des vitesses existante (voir annexe B);
- c) éviter un chenal à forte pente (mais voir 5.2.2.6);
- d) effets de l'augmentation des niveaux de l'eau en amont, due au dispositif de mesurage;
- e) conditions aval, y compris les influences telles que marées, confluent avec d'autres cours d'eau, vannes, barrages et autres dispositifs de contrôle ainsi que la croissance saisonnière de la végétation qui peuvent provoquer un écoulement noyé;
- f) imperméabilité du sol sur lequel doit reposer le dispositif de mesurage et nécessité de procéder à un compactage, à des jointoiements ou à tout autre moyen de contrôle des fuites;
- g) nécessité pour les rives de retenir le débit maximal de crue dans le chenal;
- h) stabilité des rives et nécessité de les nettoyer et/ou de les garnir d'un revêtement;
- i) uniformité de la section transversale du chenal d'approche;
- j) effet du vent sur l'écoulement dans le déversoir ou le canal jaugeur, surtout lorsque celui-ci est large, la charge faible et lorsque le vent dominant est dans une direction transversale.

**5.1.3** Si l'emplacement ne remplit pas les conditions requises pour effectuer des mesurages satisfaisants, ou si un examen du courant montre que la répartition des vitesses dans le chenal d'approche diffère de manière appréciable de celle qui est indiquée dans les exemples de l'annexe B, il faut l'abandonner à moins qu'il soit possible d'y apporter les améliorations nécessaires. Le fonctionnement de l'installation peut également être vérifié par des mesures de débit indépendantes.

## 5.2 Conditions d'installation

### 5.2.1 Spécifications générales

**5.2.1.1** L'installation complète de mesurage comprend un chenal d'approche, un déversoir et un chenal aval. Les conditions de chacun de ces trois éléments affectent la précision globale des mesurages. Les conditions exigées pour l'installation comprennent des caractéristiques telles que l'état de surface du

déversoir, la forme de la section transversale du chenal, la rugosité du chenal et l'influence des dispositifs de contrôle en amont ou en aval du dispositif de jaugeage.

**5.2.1.2** La répartition et la direction des vitesses peuvent avoir une influence importante sur le fonctionnement du déversoir (voir 5.2.2 et annexe B).

**5.2.1.3** Une fois le déversoir installé, tout changement matériel apporté à l'installation modifie les caractéristiques de débit; un rééchalonnage sera alors nécessaire.

### 5.2.2 Chenal d'approche

**5.2.2.1** Si l'écoulement dans le chenal d'approche est perturbé par des irrégularités du fond et des berges telles que des gros cailloux ou des affleurements de roches, ou par une courbe, une écluse ou tout autre élément provoquant une asymétrie de l'écoulement dans le chenal, des erreurs sérieuses peuvent se produire dans la précision du jaugeage. L'écoulement dans le chenal d'approche doit avoir une répartition symétrique des vitesses (voir annexe B). La meilleure manière de respecter cette condition est de prévoir un long chenal d'approche rectiligne de section uniforme.

**5.2.2.2** Une longueur droite du chenal d'approche égale à cinq fois la largeur du cours d'eau à son débit maximal suffit en général, dans la mesure où la pénétration de l'eau dans le chenal ne se fait pas à grande vitesse par un coude à angle aigu ou une écluse oblique. La longueur du chenal uniforme peut néanmoins être augmentée avec profit si cela est possible.

**5.2.2.3** La longueur du chenal d'approche uniforme indiquée en 5.2.2.2 correspond à la distance située en amont du point de mesure de la charge. Dans un chenal naturel, cependant, il ne serait pas rentable de bétonner le lit et les berges sur une telle distance, et il pourrait être nécessaire de prévoir une contraction en plan si la largeur entre les parois verticales du chenal canalisé est inférieure à la largeur du chenal naturel. La portion non canalisée du chenal en amont de la contraction doit néanmoins respecter les conditions de 5.2.2.1 et 5.2.2.2.

**5.2.2.4** Les parois latérales verticales ménageant la contraction des chenaux naturels doivent être disposées symétriquement par rapport à l'axe du chenal et doivent, de préférence, être incurvées avec un rayon  $R$ , d'au moins  $2H_{max}$ , comme indiqué sur la figure 1. Le point de tangence de ce rayon le plus proche du déversoir doit se situer à au moins  $H_{max}$  en amont de la section de mesure de la charge. La hauteur des parois latérales doit être choisie de manière à contenir le débit théorique maximal.

**5.2.2.5** Dans un chenal exempt de débris flottants ou en suspension, on peut également établir de bonnes conditions d'approche en plaçant judicieusement des chicanes formées de lattes verticales, mais aucune chicane ne doit être placée à une distance du point de mesurage inférieure à  $10H_{max}$ .

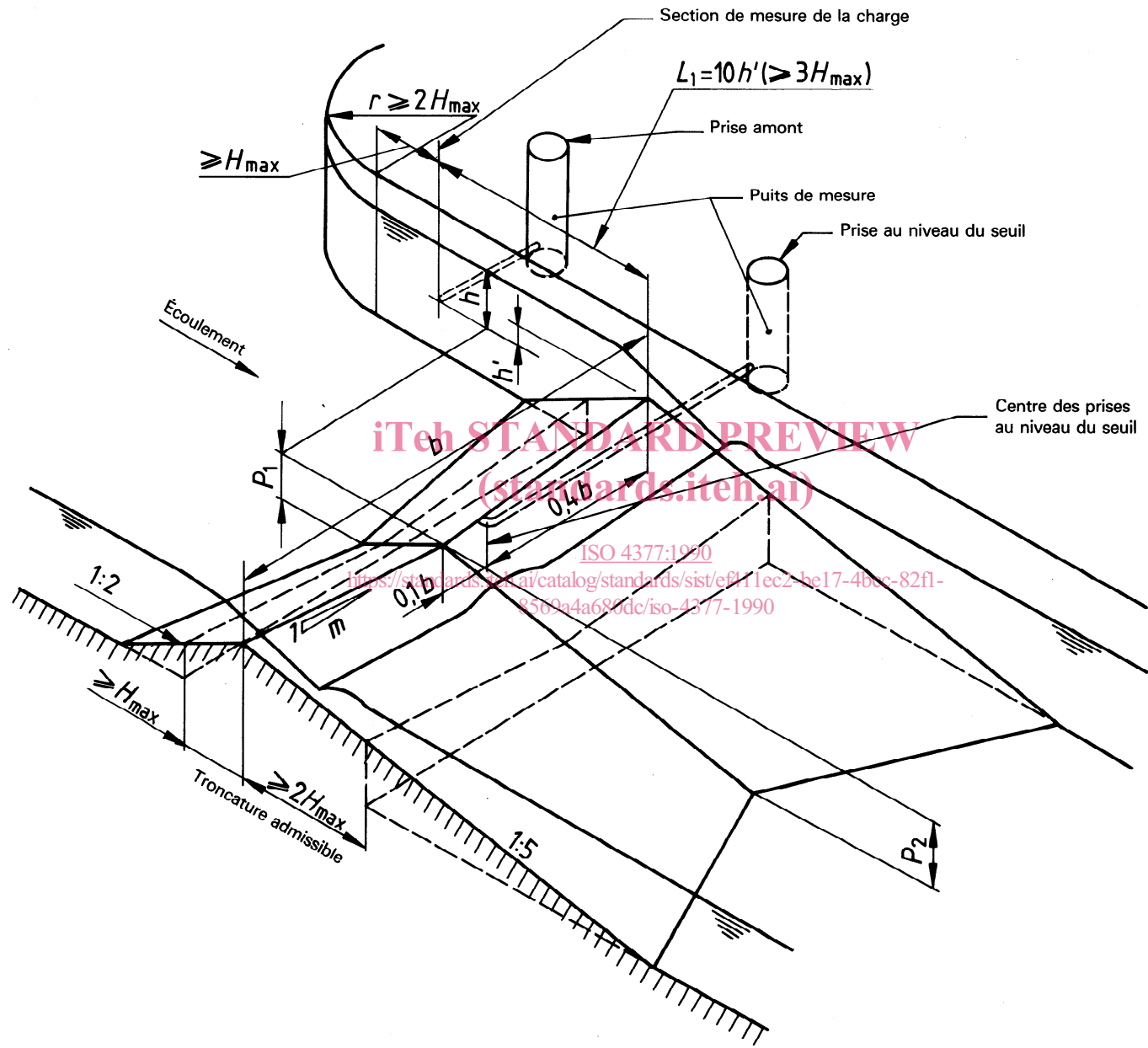


Figure 1 — Déversoir en V ouvert à profil triangulaire

**5.2.2.6** Dans certaines conditions, un ressaut peut apparaître en amont du dispositif de mesurage, par exemple si le chenal d'approche est à forte pente. Si ce ressaut est à une distance en amont au moins égale à  $30H_{\max}$ , on peut effectuer le mesurage du débit, sous réserve qu'il existe une répartition régulière des vitesses au niveau de la station de jaugeage.

**5.2.2.7** L'état du chenal d'approche peut être vérifié par examen visuel ou par des mesures pour lesquelles on dispose de plusieurs techniques telles que moulinets, flotteurs, bâtons de vitesse et solutions concentrées de colorants, la dernière technique servant à vérifier les conditions au fond du chenal. Une estimation complète et quantitative de la répartition des vitesses peut s'obtenir au moyen d'un moulinet. Des détails concernant l'emploi des moulinets sont donnés dans l'ISO 748. La répartition des vitesses doit alors être vérifiée par référence à l'annexe B.

### 5.3 Structure du déversoir

**5.3.1** La structure doit être rigide, étanche et capable de résister aux écoulements de crue sans être endommagée par des débordements ou l'érosion aval. La crête du déversoir doit être perpendiculaire à la direction de l'écoulement et doit correspondre aux dimensions données dans les chapitres correspondants.

Le déversoir doit être compris entre des parois latérales verticales et sa largeur de crête ne doit pas excéder la largeur du chenal d'approche (voir figure 1). Les blocs formant le déversoir peuvent être tronqués, mais leurs dimensions horizontales dans la direction de l'écoulement ne doivent jamais être réduites à moins de  $H_{\max}$  en amont et  $2 H_{\max}$  en aval de la ligne de crête.

**5.3.2** Le déversoir et le chenal d'approche immédiatement voisin (la partie avec des parois latérales verticales) peuvent être construits en béton, recouvert d'une couche de finition lisse en ciment ou d'un matériau lisse non sujet à la corrosion. Dans les installations de laboratoire, la finition doit être équivalente à celle d'une tôle laminée ou d'un bois raboté, poncé et peint. L'état de surface est particulièrement important au voisinage du seuil, mais les exigences peuvent être moins sévères au-delà d'une distance de  $1/2 H_{\max}$  en amont et en aval de la ligne de crête.

**5.3.3** Pour minimiser les incertitudes sur la mesure du débit, il convient de respecter les tolérances suivantes lors de la construction :

- sur la largeur de la crête, 0,2 % de cette largeur avec un maximum de 0,01 m ;
- sur les pentes amont et aval, 0,5 % ;
- sur la pente transversale de la crête, 0,1 % ;
- sur les écarts ponctuels par rapport à la ligne de crête moyenne, 0,05 % de la largeur de crête.

Les installations de laboratoire doivent normalement avoir une meilleure précision concernant les dimensions.

**5.3.4** La structure doit être mesurée dès son achèvement, et les valeurs moyennes des dimensions correspondantes et de leurs écarts-types pour des limites de confiance de 95 % doivent être calculées. Les valeurs moyennes servent au calcul du débit et l'écart-type au calcul de l'incertitude globale sur une seule détermination du débit (voir 10.6).

### 5.4 Conditions en aval

Les conditions en aval de la structure sont importantes parce qu'elles contrôlent le niveau d'eau aval. Ce niveau est l'un des facteurs qui déterminent si, au niveau du déversoir, l'écoulement sera dénoyé ou noyé. Il est donc essentiel de calculer ou de noter les niveaux d'eau aval sur toute la gamme des débits et, en fonction de ces renseignements, de prendre une décision sur le type de déversoir à utiliser et sa forme géométrique.

Il faut envisager la dissipation de l'énergie et des ouvrages de protection en aval pour empêcher l'érosion et/ou l'affouillement de la structure.

## 6 Entretien — Spécifications générales

L'entretien du dispositif de mesurage et du chenal d'approche est important pour assurer des mesurages exacts. Il est primordial que le chenal d'approche soit, dans la mesure du possible, maintenu propre et exempt de limon et de végétation sur une distance au moins égale à celle spécifiée en 5.2.2.2. Le puits à flotteur et l'entrée du chenal d'approche doivent aussi être maintenus propres et exempts de dépôts.

La structure du déversoir doit être maintenue propre et exempte de toute accumulation de débris et l'on doit prendre soin, au cours du nettoyage, de ne pas endommager la crête du déversoir.

## 7 Mesure de la (des) hauteur(s) de charge

### 7.1 Spécifications générales

**7.1.1** En cas de mesures ponctuelles, la charge peut être mesurée à l'aide d'échelles limnimétriques verticales, de pointes limnimétriques recourbées ou droites, de sondes limnimétriques visuelles ou électriques. En cas d'enregistrements en continu, on doit utiliser des limnigraphes. Les emplacements auxquels doivent être effectuées les mesures de charge sont indiqués en 7.4.

**7.1.2** Plus la taille du déversoir et la charge correspondante sont petites, plus les écarts de construction, de réglage du zéro et de lecture du dispositif mesureur de charge, même petits, prennent d'importance relative.

### 7.2 Puits de mesurage

**7.2.1** Il est préférable de mesurer la charge amont dans un puits de mesurage pour réduire les effets des irrégularités superficielles de l'eau. Dans ce cas, il est également préférable de vérifier de temps en temps la charge dans le chenal d'approche. Lorsque le déversoir est conçu pour fonctionner en régime noyé, il est nécessaire de prévoir un puits de mesurage séparé pour enregistrer la charge piézométrique dans la zone de décollement qui se forme en aval de la crête.

**7.2.2** Les puits de mesurage doivent être verticaux et de hauteur et profondeur suffisantes pour couvrir toute la gamme des niveaux d'eau. Dans les installations in situ, il doivent avoir une hauteur minimale de 0,3 m au-dessus du niveau maximal escompté. Les puits de mesurage doivent être raccordés par des tuyauteries adéquates aux points de mesure de la charge.

**7.2.3** Le puits et la tuyauterie de raccordement doivent tous deux être étanches à l'eau et, lorsque le puits est prévu pour loger le flotteur d'un limnigraphe, il doit être de taille et de profondeur suffisantes pour ménager des jeux suffisants autour et au-dessous du flotteur, quel que soit le niveau de l'eau. Le flotteur ne doit pas se trouver à moins de 0,075 m de la paroi du puits.

**7.2.4** Le radier de la tuyauterie doit se trouver à au moins 0,06 m en dessous du niveau le plus bas à enregistrer.

**7.2.5** La tuyauterie de raccordement au point de mesure de la charge amont doit affleurer au ras de la paroi du chenal d'approche et perpendiculairement à celle-ci. La paroi du chenal d'approche doit être uniforme et lisse ( finition équivalente à celle du béton soigneusement fini) sur une distance égale à 10 fois le diamètre de la tuyauterie à partir de l'axe du raccord. La tuyauterie ne peut être inclinée par rapport à la paroi que si elle est munie d'un couvercle ou d'une plaque de fermeture amovible affleurant la paroi et percée de trous, dont les bords ne doivent être ni arrondis ni matés. Les plaques de fermeture perforées ne sont pas recommandées là où des mauvaises herbes ou du limon sont susceptibles d'être présents.

**7.2.6** La tuyauterie de raccordement au point de mesure de la charge dans la zone de décollement doit aboutir dans un collecteur encastré dans le seuil du déversoir. Dans les grandes installations in situ, la sortie du collecteur doit comporter 10 trous de 10 mm de diamètre, espacés de 50 mm sur une droite parallèle à la ligne de crête mais située 20 mm en aval. Dans les installations de laboratoire et les petites installations in situ ( $b < 2,5$  m), ces dimensions doivent être réduites de moitié. Le centre des 10 trous de prise au niveau du seuil doit être décalé sur le côté de 0,1 fois la largeur totale du seuil par rapport au point le plus bas de celui-ci (voir figure 1). Les trous doivent affleurer la face aval du déversoir et de préférence être percés dans une plaque de fermeture facilement démontable pour assurer l'entretien du système. Il est important de placer un joint d'étanchéité efficace tout autour de cette plaque. Les emplacements des points de mesure de la charge sont indiqués en 7.4.

**7.2.7** Une profondeur de réserve doit être prévue dans les puits pour empêcher l'échouage des flotteurs sur le fond ou sur les limons ou les débris accumulés. Le puits de mesurage peut comporter une chambre intermédiaire de dimensions et de proportions similaires, placée entre lui et le chenal d'approche pour permettre le dépôt des limons et autres débris à un endroit où il est facile de les repérer et de les éliminer.

**7.2.8** Le diamètre de la tuyauterie de raccordement ou la largeur de la fente doit être suffisant pour permettre au niveau d'eau dans le puits de suivre les fluctuations en hausse ou en baisse de la hauteur de charge sans retard appréciable, mais

aussi suffisamment petit, compte tenu des exigences d'entretien, pour amortir les oscillations dues aux ondes de courte période.

**7.2.9** Il n'est pas possible de fixer des règles strictes pour la détermination de la taille de la tuyauterie de raccordement, car ce paramètre dépend des conditions particulières de l'installation considérée: par exemple, si l'emplacement est à découvert et donc exposé aux vagues, si le diamètre du puits doit être suffisant pour loger les flotteurs des limnigraphes, etc. Il est préférable d'avoir un raccord plutôt trop large que trop étroit, car il est facile d'ajouter ultérieurement une restriction si l'amortissement des ondes de courte période ne se fait pas convenablement. Il est généralement suffisant d'avoir une tuyauterie de 100 mm de diamètre pour les mesures de débit in situ. Un diamètre de 3 mm peut convenir pour les mesures de précision en régime permanent en laboratoire.

**7.2.10** Les robinets d'isolement avec des tiges allongées doivent de préférence être fixés à la tuyauterie de raccordement à l'intérieur des puits de mesurage de sorte que les puits puissent être drainés ou asséchés et nettoyés. Si possible, le puits doit être relié à un système de drainage à l'aide d'un robinet à boue à boisseau conique et d'une canalisation.

## 7.3 Réglage du zéro

**7.3.1** Il est essentiel, pour obtenir une bonne précision globale, d'une part d'avoir un réglage initial précis du zéro des dispositifs mesureurs de la charge par rapport au niveau du seuil du déversoir, d'autre part de vérifier régulièrement ces réglages dans la suite des opérations.

**7.3.2** Un moyen précis doit être prévu pour vérifier le zéro à intervalles fréquents. Des repères de nivellement constitués par des plaques métalliques horizontales doivent être fixés au sommet des parois verticales et dans les puits de mesurage. Ils doivent être nivelés avec précision de manière à connaître leur cote par rapport au niveau du seuil. Le zéro des instruments peut être vérifié par rapport à ces repères de nivellement sans qu'il soit nécessaire de faire à chaque fois un nouveau relevé de la cote du seuil. Un tassement de la structure remet cependant en cause tous les rapports entre le seuil et les repères de nivellement, et il faut procéder occasionnellement à des vérifications.

**7.3.3** Une vérification du zéro fondée sur le niveau de l'eau (soit en fin d'écoulement, soit juste au début) est sujette à des erreurs sérieuses par suite des effets de tension superficielle et il faut donc l'éviter.

**7.3.4** Les valeurs de la pente transversale du seuil,  $m$ , et du zéro de l'échelle peuvent être obtenues par mesure de la hauteur du seuil à intervalles réguliers sur la ligne de crête. On trace ensuite des droites optimales passant par les points de mesure de chaque côté du déversoir et l'intersection de ces deux droites donne le niveau du zéro de l'échelle. Dans les formules du débit, on prend pour  $m$  la moyenne des deux pentes transversales. Dans les installations in situ, il est recommandé d'utiliser les techniques de nivellement normalisées mais, pour les mesures en laboratoire, il faut utiliser des micromètres ou des verniers de précision.

**7.4 Emplacement des sections de mesure de la charge**

**7.4.1** L'écoulement arrivant sur un déversoir en V ouvert est tridimensionnel. Le rabattement est plus prononcé le long du filet se dirigeant vers le point le plus bas du seuil que dans les autres emplacements situés sur la largeur du chenal d'approche et cela provoque un abaissement de la surface de l'eau immédiatement en amont du point le plus bas du seuil. Cet abaissement est moins prononcé plus en amont et, à une distance de 10 fois la hauteur du triangle,  $10h'$ , le niveau de l'eau reste approximativement constant sur toute la largeur du chenal. Donc, pour évaluer de façon précise la charge amont, il convient de situer la prise à  $10h'$  en amont de la ligne de crête.  $h' = b/2m$  est la différence entre le point le plus élevé et le point le plus bas du seuil du déversoir. Si, toutefois, cette distance est inférieure à  $3H_{max}$ , la prise doit être située à une distance de  $3H_{max}$  en amont du seuil pour éviter le phénomène de rabattement.

**7.4.2** Si d'autres considérations exigent que la prise soit située plus près du déversoir, et si  $H_1/P_1 > 1$ , des corrections devront être apportées aux coefficients de débit. Dans tous les cas, un accroissement du coefficient est nécessaire et le pourcentage d'accroissement dépend de l'emplacement de la prise  $L_1$  et de la valeur de  $H_1/P_1$ , comme montré au tableau 2, où

$H_1$  est la hauteur de charge totale amont par rapport à la hauteur du point le plus bas du seuil;

$P_1$  est la hauteur du point le plus bas du seuil par rapport au niveau du lit amont;

$L_1$  est la distance entre le point de mesure de la charge à l'amont et la ligne de crête.

**Tableau 2 — Corrections du coefficient de débit**

$L_1$	Augmentation (%) de $C_D$ pour les valeurs suivantes de $H_1/P_1$		
	1	2	3
$10h'$	0	0	0
$8h'$	0	0,3	0,6
$6h'$	0	0,6	0,9
$4h'$	0	0,8	1,2

**7.4.3** Les déversoirs en V ouvert peuvent être utilisés pour jauger des écoulements noyés si une prise est incorporée au seuil (voir 7.2.6).

**8 Relations de débit**

**8.1 Formule de débit**

La formule du débit est basée sur l'utilisation de la hauteur mesurée:

$$Q = \left(\frac{4}{5}\right)^{5/2} \left(\frac{1}{2}\right)^{1/2} C_D C_v C_S C_{dr} m g^{1/2} h^{5/2} \dots (1)$$

où

$Q$  est le débit total;

$C_D$  est le coefficient de débit;

$C_v$  est le coefficient de vitesse d'approche;

$C_S$  est le coefficient de forme;

$C_{dr}$  est le coefficient de réduction pour écoulement noyé;

$m$  est la pente transversale du seuil;

$g$  est l'accélération due à la pesanteur;

$h$  est la hauteur de charge mesurée à l'amont par rapport à la hauteur du point le plus bas du seuil.

**8.2 Coefficient de débit**

Le coefficient de débit est donné par la formule suivante:

$$C_D = C_{Dm} \left(\frac{h_e}{h}\right)^{5/2} = C_{Dm} (1 - k_m/h)^{5/2} \dots (2)$$

où

$C_{Dm}$  est le coefficient de débit en régime dénoyé;

$h_e$  est la hauteur de charge effective, égale à  $h - k_m$ ;

$k_m$  est le facteur de correction de la charge.

$C_{Dm}$  et  $k_m$  dépendent tous les deux de la pente transversale du seuil. Ils sont indiqués au tableau 3.

Dans le cas des mesures in situ,  $k_m$  est négligeable parce qu'il est inférieur à 1 mm.

**8.3 Coefficient de vitesse d'approche**

Comme la formule de débit est dérivée d'une formule dans laquelle la charge totale est utilisée, un coefficient de vitesse d'approche,  $C_v$ , est introduit pour corriger la hauteur mesurée:

$$C_v = (H_1/h)^{5/2} \dots (3)$$

où  $H_1$  est la hauteur de la charge totale à l'amont par rapport à la hauteur du point le plus bas du seuil.

En utilisant la formule (1)

$$H_1 = h + \frac{v_1^2}{2g}$$

$$= h + \frac{1}{2} \left[ \frac{0,4 C_v C_D C_S C_{dr} m h^{5/2}}{b (P_1 + h)} \right]^2$$

où

$v_1$  est la vitesse moyenne dans le chenal d'approche;

$P_1$  est la différence entre la hauteur du point le plus bas du seuil et le niveau moyen du lit dans le chenal d'approche;

$b$  est la largeur du seuil;



on obtient

$$C_v^{2/5} = 1 + \frac{1}{2} Y_1 C_v^2 \quad \dots (4)$$

où

$$Y_1 = \left[ \frac{0,4 C_D C_S C_{dr} m h^2}{b (P_1 + h)} \right]^2 \quad \dots (5)$$

L'équation (4) peut être résolue itérativement; les valeurs de  $C_v$  sont obtenues en fonction de  $Y_1$  et sont données dans le tableau 4.

Pour  $Y_1 < 0,08$ ,  $C_v$  est donné avec une bonne approximation par la formule suivante:

$$C_v = 1 + \frac{1,25 Y_1}{1 - 2,5 Y_1} \quad \dots (6)$$

L'erreur relative due à cette approximation est inférieure à 0,7 %.

### 8.4 Coefficient de forme

Un coefficient de forme apparaît dans la formule de débit des déversoirs en V ouvert, car la géométrie de l'écoulement change lorsque le débit dépasse la condition totale du triangle du déversoir. Ainsi

$$\begin{aligned} C_S &= 1 && \text{si } h_e < h' \\ C_S &= 1 - (1 - h'/h_e)^{5/2} && \text{si } h_e > h' \end{aligned} \quad \dots (7)$$

où  $h' = b/2m$  est la différence de hauteur entre le point le plus haut et le point le plus bas du seuil.

### 8.5 Coefficient de réduction pour écoulement noyé

Lorsque le déversoir est noyé, c'est-à-dire  $h_{pe} > 0,4 H_e$ , le débit diminue. Un coefficient de réduction est utilisé pour calculer le débit en écoulement noyé:

$$\begin{aligned} C_{dr} &= 1 && \text{si } h_{pe}/H_e < 0,4 \\ C_{dr} &= 1,078 \left[ 0,909 - \left( \frac{h_{pe}}{H_e} \right)^{3/2} \right]^{0,183} && \text{si } h_{pe}/H_e > 0,4 \end{aligned} \quad \dots (8)$$

où

$h_{pe}$  est la hauteur de charge effective dans la zone de décollement par rapport à la hauteur du point le plus bas du seuil,  $h_{pe} = h_p - k_m$ ;

$h_p$  est la hauteur de charge mesurée dans la zone de décollement par rapport à la hauteur du point le plus bas du seuil;

$H_e$  est la hauteur de charge totale effective à l'amont par rapport à la hauteur du point le plus bas du seuil,  $H_e = h + v^2/2g - k_m$ .

Les valeurs de  $C_{dr}$  calculées à partir de la formule (8) sont données dans le tableau 5 en fonction de deux paramètres,  $h_{pe}/h_e$  et  $Y_2 = C_D C_S m h^2 / [b (P_1 + h)]$ .

Pour  $h_{pe}/h_e < 0,9$ ,  $C_{dr}$  peut être calculé, en deux temps avec une bonne approximation (erreur relative inférieure à 1 %) comme suit

a) Évaluer la valeur de  $C_{dr0}$  en fonction de la valeur de  $h_{pe}/h_e$ :

$$\begin{aligned} C_{dr0} &= 1 && \text{si } h_{pe}/h_e < 0,55 \\ C_{dr0} &= 0,9 && \text{si } 0,55 < h_{pe}/h_e < 0,7 \\ C_{dr0} &= 0,8 && \text{si } 0,7 < h_{pe}/h_e < 0,85 \\ C_{dr0} &= 0,75 && \text{si } 0,85 < h_{pe}/h_e < 0,9 \end{aligned} \quad \dots (9)$$

b) Calculer les grandeurs suivantes:

$$\begin{aligned} Y_2 &= \frac{C_D C_S m h^2}{b (P_1 + h)} \\ Y_1 &= 0,16 C_{dr0}^2 Y_2^2 \\ C_v^{0,4} &= 1 + 0,5 Y_1 C_v^2 \end{aligned} \quad \dots (10)$$

$$\begin{aligned} H_e &= C_v^{0,4} h_e \\ C_{dr} &= 1,078 \left[ 0,909 - \left( \frac{h_{pe}}{H_e} \right)^{3/2} \right]^{0,183} \end{aligned}$$

Lorsque  $h_{pe}/h_e > 0,9$ , d'autres opérations d'itération sont nécessaires et l'emploi du tableau 5 est recommandé.

### 8.6 Limites d'application

**8.6.1** La limite pratique inférieure de la hauteur de charge amont dépend de la grandeur de l'influence des propriétés du fluide et de la rugosité des parois. Sur un déversoir bien entretenu à section de seuil lisse, la charge minimale recommandée est de 0,03 m. Si le seuil est en béton lisse ou en matériau de structure similaire, il est proposé d'adopter une limite inférieure de 0,06 m.

**8.6.2** Il existe également une valeur limite de 2,5 pour le rapport  $h'/P_1$  et certaines restrictions sur  $h'/P_2$ , où  $P_2$  est la hauteur du point le plus bas du seuil par rapport au niveau du lit aval, comme l'indique le tableau 3. Ces limites dépendent de l'ampleur des vérifications expérimentales et varient en fonction de la pente transversale.

**Tableau 3 — Résumé des coefficients recommandés, des limites et des incertitudes**

Déversoir en V ouvert	Valeur recommandée pour les valeurs suivantes de la pente transversale du seuil		
	< 1:40	1:20	1:10
$H_1/h' < 1$			
Coefficient de débit en écoulement dénoyé, $C_{Dm}^{1)}$	1,23	1,22	1,21
Facteur de correction de la charge, $k_m$	0,000 4 m	0,000 5 m	0,000 8 m
Incertitude aléatoire sur le coefficient de débit en écoulement dénoyé $X'_{C_{Dm}}$	± 0,5 %	± 0,5 %	± 0,5 %
Incertitude systématique sur le coefficient de débit en écoulement dénoyé $X''_{C_{Dm}}$	± 3 %	± 3,2 %	± 2,9 %
Limite modulaire	65 % à 75 %	65 % à 75 %	65 % à 75 %
Autres limites			
$h'/P_1$	< 2,5	< 2,5	< 2,5
$h'/P_2$	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Prise amont	10h'	10h'	10h'
$H_1/h' > 1$			
Coefficient de débit en écoulement dénoyé, $C_{Dm}^{1)}$	1,24	1,23	1,22
Facteur de correction de la charge, $k_m$	0,000 4 m	0,000 5 m	0,000 8 m
Incertitude aléatoire sur le coefficient de débit en écoulement dénoyé $X'_{C_{Dm}}$	± 0,5 %	± 0,5 %	± 0,5 %
Incertitude systématique sur le coefficient de débit en écoulement dénoyé $X''_{C_{Dm}}$	± 2,5 %	± 2,8 %	± 2,3 %
Limite modulaire	65 % à 75 %	65 % à 75 %	65 % à 75 %
Autres limites			
$h'/P_1$	< 2,5	< 2,5	< 2,5
$h'/P_2$	< 8,2	< 8,2	< 4,2
Prise amont	10h'	10h'	10h'
1) En écoulement noyé, les calculs doivent être basés sur $C_{Dm} = 1,25, 1,24$ et $1,22$ pour les valeurs de la pente transversale du seuil de 1:40 ou moins, de 1:20 et de 1:10, respectivement.			

**Tableau 4 — Coefficient de vitesse d'approche en fonction de  $Y_1$**

NOTE — La présentation du tableau 4 est la suivante: la colonne  $Y_1$  donne la valeur de  $Y_1$  à deux décimales près; la ligne  $Y_1$  donne la troisième décimale de  $Y_1$ . Par exemple, la valeur de  $C_v$  pour  $Y_1 = 0,064$  est de 1,100.

$C_v$ pour les valeurs suivantes de $Y_1$					
$Y_1$	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008
0,00	1,000	1,002	1,005	1,008	1,010
0,01	1,013	1,016	1,018	1,021	1,024
0,02	1,027	1,030	1,032	1,035	1,038
0,03	1,041	1,044	1,047	1,050	1,054
0,04	1,057	1,060	1,063	1,067	1,070
0,05	1,074	1,077	1,080	1,084	1,088
0,06	1,092	1,096	1,100	1,104	1,108
0,07	1,112	1,116	1,120	1,124	1,129
0,08	1,133	1,138	1,143	1,148	1,153
0,09	1,158	1,163	1,168	1,174	1,180
0,10	1,185	1,191	1,197	1,203	1,210
0,11	1,216	1,223	1,230	1,237	1,244
0,12	1,252	1,260	1,268	1,277	1,286
0,13	1,295	1,305	1,316	1,326	1,338
0,14	1,350	1,363	1,377	1,392	1,408
0,15	1,426	1,446	1,468	1,492	1,523

Tableau 5 — Coefficient de réduction  $C_{dr}$  pour un écoulement noyé en fonction de  $h_{pe}/h_e$  et  $Y_2$

$h_{pe}/h_e$	$C_{dr}$ pour les valeurs de $Y_2$ suivantes															
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72	0,76	0,80	0,84	0,88
0,41	0,995	0,996	0,996	0,997	0,997	0,998	0,998	0,998	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,42	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,995	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000
0,43	0,990	0,990	0,991	0,991	0,992	0,992	0,993	0,993	0,994	0,994	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998	1,000
0,44	0,987	0,987	0,988	0,989	0,989	0,989	0,990	0,990	0,991	0,992	0,992	0,993	0,994	0,995	0,996	0,997
0,45	0,984	0,984	0,985	0,986	0,986	0,987	0,987	0,988	0,988	0,989	0,990	0,990	0,991	0,992	0,993	0,994
0,46	0,981	0,981	0,982	0,983	0,983	0,984	0,984	0,985	0,985	0,986	0,987	0,988	0,988	0,989	0,991	0,992
0,47	0,977	0,978	0,979	0,980	0,980	0,981	0,981	0,982	0,982	0,983	0,984	0,985	0,986	0,987	0,988	0,989
0,48	0,975	0,975	0,976	0,977	0,977	0,978	0,978	0,979	0,979	0,980	0,981	0,982	0,983	0,984	0,985	0,986
0,49	0,972	0,972	0,973	0,973	0,974	0,974	0,975	0,976	0,976	0,977	0,978	0,979	0,980	0,981	0,982	0,984
0,50	0,968	0,969	0,969	0,970	0,971	0,971	0,972	0,972	0,973	0,974	0,975	0,976	0,977	0,978	0,979	0,981
0,51	0,965	0,965	0,966	0,967	0,967	0,968	0,969	0,969	0,970	0,971	0,972	0,973	0,974	0,975	0,976	0,978
0,52	0,961	0,962	0,962	0,963	0,964	0,965	0,965	0,966	0,967	0,967	0,968	0,969	0,971	0,972	0,973	0,975
0,53	0,958	0,958	0,959	0,960	0,960	0,961	0,962	0,962	0,963	0,964	0,965	0,966	0,967	0,969	0,970	0,972
0,54	0,954	0,954	0,955	0,956	0,957	0,957	0,958	0,959	0,960	0,961	0,962	0,963	0,964	0,965	0,967	0,968
0,55	0,950	0,951	0,951	0,953	0,953	0,954	0,954	0,955	0,956	0,957	0,958	0,959	0,961	0,962	0,963	0,965
0,56	0,946	0,947	0,948	0,949	0,949	0,950	0,951	0,952	0,952	0,953	0,954	0,956	0,957	0,958	0,960	0,962
0,57	0,942	0,943	0,944	0,945	0,945	0,946	0,947	0,948	0,949	0,950	0,951	0,952	0,953	0,955	0,956	0,958
0,58	0,938	0,939	0,940	0,941	0,941	0,942	0,943	0,944	0,945	0,946	0,947	0,948	0,950	0,951	0,953	0,955
0,59	0,934	0,934	0,935	0,937	0,937	0,938	0,939	0,940	0,941	0,942	0,943	0,944	0,946	0,947	0,949	0,951
0,60	0,929	0,930	0,931	0,932	0,933	0,934	0,935	0,936	0,937	0,938	0,939	0,940	0,942	0,943	0,945	0,947
0,61	0,925	0,926	0,927	0,928	0,929	0,929	0,930	0,931	0,932	0,934	0,935	0,936	0,938	0,939	0,941	0,943
0,62	0,920	0,921	0,922	0,923	0,924	0,925	0,926	0,927	0,928	0,929	0,931	0,932	0,934	0,935	0,937	0,939
0,63	0,916	0,916	0,917	0,919	0,920	0,920	0,921	0,922	0,923	0,925	0,926	0,928	0,929	0,931	0,933	0,935
0,64	0,911	0,911	0,912	0,914	0,915	0,916	0,917	0,918	0,919	0,920	0,922	0,923	0,925	0,927	0,929	0,931
0,65	0,905	0,906	0,907	0,909	0,910	0,911	0,912	0,913	0,914	0,915	0,917	0,918	0,920	0,922	0,924	0,927
0,66	0,900	0,901	0,902	0,904	0,905	0,906	0,907	0,908	0,909	0,910	0,912	0,914	0,915	0,917	0,920	0,922
0,67	0,895	0,895	0,897	0,898	0,899	0,900	0,901	0,903	0,904	0,905	0,907	0,909	0,911	0,913	0,915	0,917
0,68	0,889	0,890	0,891	0,893	0,894	0,895	0,896	0,897	0,899	0,900	0,902	0,903	0,905	0,908	0,910	0,912
0,69	0,883	0,884	0,885	0,887	0,888	0,889	0,890	0,892	0,893	0,895	0,896	0,898	0,900	0,902	0,905	0,907
0,70	0,877	0,878	0,879	0,881	0,882	0,883	0,885	0,886	0,887	0,889	0,891	0,893	0,895	0,897	0,899	0,902
0,71	0,871	0,872	0,873	0,875	0,876	0,877	0,878	0,880	0,881	0,883	0,885	0,887	0,889	0,891	0,894	0,897
0,72	0,864	0,865	0,867	0,869	0,870	0,871	0,872	0,874	0,875	0,877	0,879	0,881	0,883	0,886	0,888	0,891
0,73	0,857	0,858	0,860	0,862	0,863	0,864	0,866	0,867	0,869	0,871	0,873	0,875	0,877	0,880	0,882	0,885
0,74	0,850	0,851	0,853	0,855	0,856	0,857	0,859	0,860	0,862	0,864	0,866	0,868	0,871	0,873	0,876	0,879
0,75	0,843	0,844	0,845	0,848	0,849	0,850	0,852	0,853	0,855	0,857	0,859	0,861	0,864	0,867	0,870	0,873
0,76	0,835	0,836	0,837	0,840	0,841	0,843	0,844	0,846	0,848	0,850	0,852	0,854	0,857	0,860	0,863	0,866
0,77	0,826	0,827	0,829	0,832	0,833	0,835	0,836	0,838	0,840	0,842	0,844	0,847	0,849	0,852	0,856	0,859
0,78	0,818	0,819	0,821	0,823	0,825	0,826	0,828	0,830	0,832	0,834	0,836	0,839	0,842	0,845	0,848	0,852
0,79	0,808	0,810	0,812	0,814	0,816	0,817	0,819	0,821	0,823	0,825	0,828	0,831	0,834	0,837	0,840	0,844
0,80	0,799	0,800	0,802	0,805	0,806	0,808	0,810	0,812	0,814	0,816	0,819	0,822	0,825	0,828	0,832	0,836
0,81	0,788	0,789	0,792	0,795	0,796	0,798	0,800	0,802	0,804	0,807	0,810	0,813	0,816	0,819	0,823	0,827
0,82	0,777	0,778	0,781	0,784	0,786	0,788	0,790	0,792	0,794	0,797	0,800	0,803	0,806	0,810	0,814	0,818
0,83	0,765	0,766	0,769	0,772	0,774	0,776	0,778	0,781	0,783	0,786	0,789	0,792	0,796	0,799	0,804	0,808
0,84	0,752	0,754	0,756	0,760	0,762	0,764	0,766	0,768	0,771	0,774	0,777	0,781	0,784	0,788	0,793	0,797
0,85	0,738	0,739	0,742	0,746	0,748	0,750	0,753	0,755	0,758	0,761	0,765	0,768	0,772	0,776	0,781	0,786
0,86	0,722	0,724	0,727	0,731	0,733	0,736	0,738	0,741	0,744	0,747	0,751	0,755	0,759	0,763	0,768	0,773
0,87	0,705	0,707	0,710	0,715	0,717	0,719	0,722	0,725	0,728	0,732	0,736	0,740	0,744	0,749	0,754	0,760
0,88	0,685	0,687	0,691	0,696	0,698	0,701	0,704	0,707	0,711	0,714	0,719	0,723	0,728	0,733	0,738	0,745
0,89	0,662	0,665	0,669	0,674	0,677	0,680	0,683	0,687	0,690	0,695	0,699	0,704	0,709	0,715	0,721	0,727
0,90	0,635	0,638	0,642	0,649	0,652	0,655	0,659	0,662	0,667	0,671	0,676	0,682	0,688	0,694	0,700	0,708
0,91	0,602	0,605	0,610	0,617	0,620	0,624	0,628	0,633	0,638	0,643	0,649	0,655	0,662	0,669	0,676	0,684
0,92	0,556	0,560	0,566	0,575	0,579	0,584	0,589	0,595	0,600	0,607	0,614	0,621	0,629	0,637	0,646	0,655
0,93	0,483	0,488	0,497	0,510	0,516	0,522	0,529	0,537	0,545	0,553	0,563	0,572	0,582	0,593	0,604	0,615