



## Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Relations hauteur-chute-débit

*Liquid flow measurements in open channels — Stage-fall-discharge relations*

iTeh STANDARD PREVIEW

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux.

ISO/TR 9123:1986

La tâche principale des comités techniques de l'ISO est d'élaborer les Normes internationales. Exceptionnellement, un comité technique peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1: lorsque, en dépit de maints efforts au sein d'un comité technique, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2: lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique et requiert une plus grande expérience;
- type 3: lorsqu'un comité technique a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique, par exemple).

La publication des rapports techniques dépend directement de l'acceptation du Conseil de l'ISO. Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques du type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

L'ISO/TR 9123 a été préparé par le comité technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*.

Les raisons justifiant la décision de publier le présent document sous forme de rapport technique du type 2 sont exposées dans l'introduction.

CDU 532.53

Réf. n° : ISO/TR 9123-1986 (F)

Descripteurs : écoulement de liquide, écoulement en canal découvert, mesurage de débit, débit.

© Organisation internationale de normalisation, 1986 •

Imprimé en Suisse

Prix basé sur 10 pages

## 0 Introduction

Lors des travaux d'étude du présent document, l'ISO/TC 113 n'a pas été à même de parvenir à un accord en ce qui concerne l'appartenance du document à une technique de mesure déterminée. Lors de la réunion tenue en 1983 à La Haye (Pays-Bas), l'ISO/TC 113 a décidé que le document devrait d'abord être publié en tant que Rapport technique et ensuite sa publication en tant que Norme internationale séparée ou comme annexe à une Norme internationale existante pourrait être envisagée.

## 1 Objet et domaine d'application

Le présent Rapport technique spécifie des méthodes de détermination des relations hauteur-chute-débit dans le cas d'un bief où des eaux de retenue variables se présentent d'une manière intermittente ou continue. Deux stations de jaugeage, un limnimètre de référence et un limnimètre auxiliaire sont nécessaires pour les mesures de la hauteur. Il faut plusieurs mesures de débit pour effectuer le tarage avec le degré d'exactitude requis par le présent Rapport technique.

## 2 Référence

ISO 772, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Vocabulaire et symboles.*

## 3 Définitions et symboles

Dans le cadre du présent Rapport technique, les définitions et symboles donnés dans l'ISO 772 ainsi que les définitions suivantes sont applicables.

**3.1 tarage** : Relation entre le débit et les autres variables.

**3.2 tarage à chute unitaire** : Relation entre la hauteur et le débit lorsque la chute est égale à 1 m.

## 4 Considérations générales

La plupart des programmes de recueil de renseignements sur le débit des cours d'eau sont basés sur le fait qu'une relation relative simple existe entre la hauteur et le débit de sorte qu'en notant simplement la hauteur et en développant la relation hauteur-débit, un relevé continu des débits peut être obtenu. Plusieurs facteurs, toutefois, peuvent causer une dispersion des mesures de débit autour de la relation hauteur-débit à certaines stations; l'eau de retenue est un de ces facteurs et elle est définie comme une condition par laquelle l'écoulement est retardé afin qu'une hauteur plus grande soit nécessaire pour maintenir un débit donné qu'il n'aurait été nécessaire si l'eau de retenue n'était pas présente.

L'eau de retenue constante, telle qu'elle est causée par des sections de contrôle par exemple, n'exercera pas d'influence défavorable sur la relation hauteur-débit. La présence d'une eau de retenue variable, par contre, ne permet pas l'utilisation de relations hauteur-débit simples pour une détermination précise du débit. Les cours d'eau réglés peuvent avoir une eau de retenue variable pratiquement tout le temps, alors que les autres cours d'eau auront simplement une eau de retenue de temps en temps due aux affluents, à la croissance de la végétation ou au retour de l'écoulement inondable. Plusieurs de ces sites peuvent être mis en fonctionnement comme des stations de la pente de la ligne d'eau en utilisant un limnimètre de référence où la hauteur est mesurée sans interruption et où les mesures de débit avec un moulinet sont effectuées de temps en temps. Un limnimètre auxiliaire à une certaine distance en aval du limnimètre de référence est mis en fonctionnement en vue de mesurer la hauteur sans interruption. Lorsque les deux limnimètres sont réglés par rapport à la même ligne de référence, la différence entre les deux relevés de la hauteur est la chute de la ligne d'eau et elle fournit une mesure de la pente de la ligne d'eau. Plus le bief de la pente de la ligne d'eau est petit, plus rapprochée est la relation entre la chute mesurée et la pente de la ligne d'eau. Par contre, plus le bief est long, plus faible est le pourcentage de l'erreur dans la chute enregistrée. Une synchronisation précise du temps entre le limnimètre de référence et le limnimètre auxiliaire est très importante lorsque la hauteur change rapidement ou lorsque la chute est faible. Des mesures précises du débit peuvent être obtenues lorsque la chute dépasse environ 0,1 m. Des erreurs de temps et de niveau qui sont sans importance lorsque les débits sont élevés deviennent importantes quand l'écoulement est trop faible.

Dans des conditions d'eau de retenue variable, la chute telle qu'elle est mesurée entre le limnimètre de référence et le limnimètre auxiliaire est utilisée comme troisième paramètre et le tarage devient une relation hauteur-chute-débit. Les tarages hauteur-chute-débit se divisent en deux grandes catégories, comme suit :

- a) tarages à chute constante dont la méthode à chute unitaire est un cas spécial;
- b) tarages à chute variable.

Les tarages à chute unitaire sont les plus simples et nécessitent le moins de données pour le tarage. Le tarage à chute unitaire doit être utilisé comme point de départ avant d'essayer les tarages plus complexes. Les tarages à chute variable sont les plus complexes et nécessitent le plus de données pour le tarage. Le type de tarage applicable pour un bief dépend dans une grande mesure du fait que l'eau de retenue soit intermittente ou toujours présente.

Les tarages à chute constante sont les plus efficaces lorsque l'eau de retenue est toujours présente à toutes les hauteurs, mais ils peuvent parfois être adaptés aux conditions d'eau de retenue intermittente.

Les tarages à chute variable sont les plus efficaces dans des conditions d'eau de retenue intermittente.

## 5 Méthode à chute unitaire

La méthode à chute unitaire est utilisée avec la supposition que la relation entre le rapport des débits ( $Q/Q_n$ ) et le rapport des chutes ( $F/F_n$ ) est exactement une relation de racine carrée, comme donné par les formules suivantes :

$$\frac{Q}{Q_n} = \sqrt{\frac{F}{F_n}} = \sqrt{\frac{F}{1}} = \sqrt{F}$$

$$Q = Q_n \sqrt{F} \text{ ou } Q_n = \frac{Q}{\sqrt{F}}$$

où

$Q$  est le débit mesuré, en mètres cubes par seconde;

$F$  est la chute mesurée, en mètres;

$Q_n$  est le débit à partir de la courbe de tarage correspondant à la chute constante et à la hauteur du limnimètre de référence, en mètres cubes par seconde;

$F_n$  est la chute constante (1 m pour la méthode de chute unitaire), en mètres.

Le tarage à chute unitaire doit être développé en portant sur un graphique chaque débit mesuré divisé par la racine carrée de la chute mesurée en fonction de la hauteur du limnimètre de référence pour le débit mesuré. La courbe de tarage doit ensuite être adaptée aux points tracés.

Le tarage doit être utilisé pour calculer le débit en déterminant la valeur de  $Q_n$  à partir du tarage pour une hauteur donnée du limnimètre de référence, et en multipliant ce débit par la racine carrée de la chute mesurée. Ce type de tarage sera normalement satisfaisant lorsque l'eau de retenue est toujours présente, la chute est supérieure à environ 0,1 m, et la ligne de référence des deux limnimètres est à l'intérieur d'environ 0,01 m.

La figure 1 et le tableau 1 représentent le tarage à chute unitaire pour un site avec eau de retenue élevée en provenance d'un barrage d'aménée. L'eau de retenue existe à tous les stades et en tout temps.

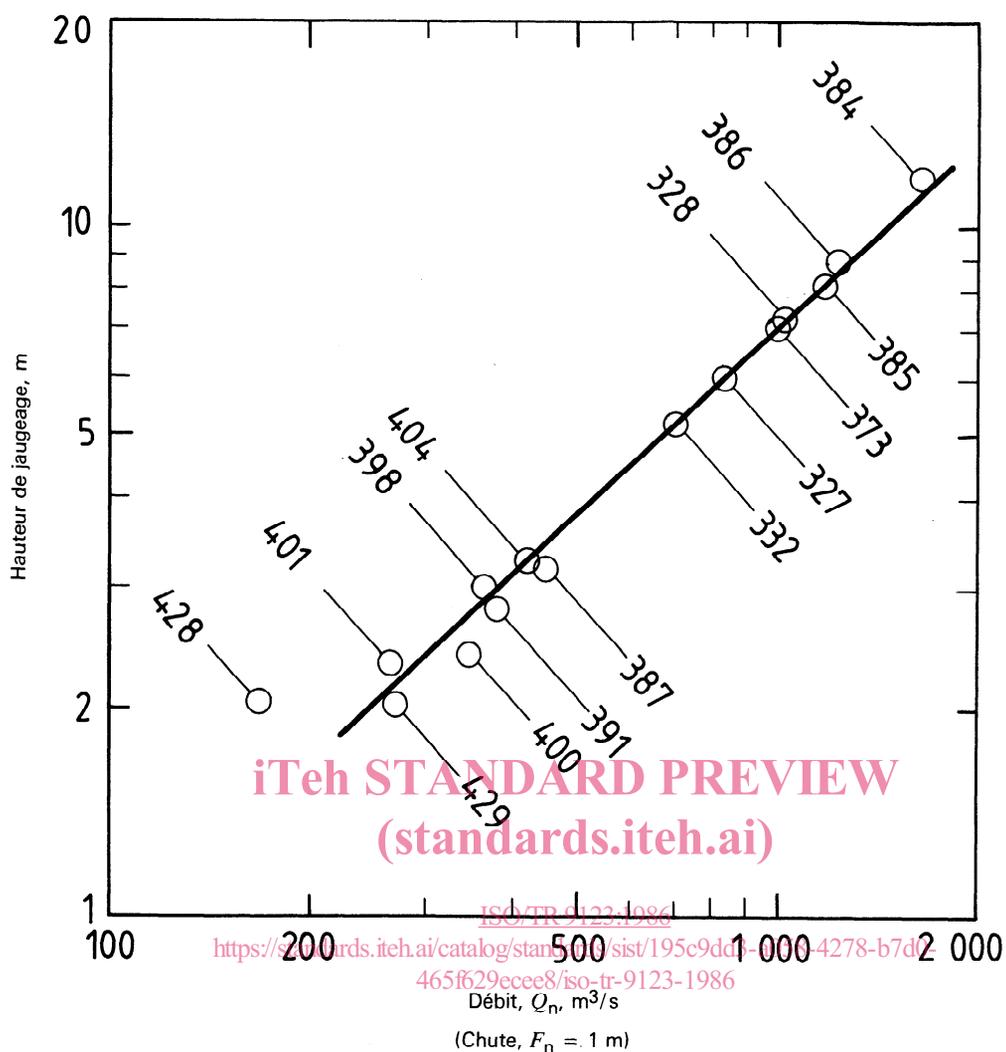
Si l'eau de retenue est intermittente, il est également nécessaire de développer un tarage à chute dénoyée. Le tarage à chute dénoyée doit être utilisé en tous temps sauf durant les périodes où une eau de retenue est suspectée, périodes pendant lesquelles le débit doit être calculé aussi bien du tarage à chute dénoyée que du tarage à chute unitaire. Le plus faible des deux débits doit être considéré comme étant la valeur réelle.

## 6 Méthode à chute constante

La méthode à chute constante exige l'utilisation des deux courbes suivantes :

- la relation entre la hauteur et le débit pour une chute constante d'une valeur déterminée;
- la relation entre la chute mesurée,  $F$ , et le rapport des débits,  $Q/Q_n$ .

Un trait caractéristique de la méthode à chute constante est qu'il n'est pas nécessaire que le limnimètre de référence et le limnimètre auxiliaire soient à la même ligne de référence.



NOTE — Les numéros sur le graphique correspondent aux numéros des mesures (voir tableau 1).

Figure 1 — Tarage à chute unitaire

Tableau 1 — Tarage à chute unitaire

| N° de mesure | Hauteur de jaugeage | $F$   | $Q$               | $Q/\sqrt{F_n}$ | $Q_n$             | Différence |
|--------------|---------------------|-------|-------------------|----------------|-------------------|------------|
|              | m                   | m     | m <sup>3</sup> /s |                | m <sup>3</sup> /s |            |
| 327          | 5,907               | 1,917 | 1 160             | 838            | 840               | -0,2       |
| 328          | 7,105               | 2,182 | 1 520             | 1 030          | 1 030             | 0          |
| 332          | 5,026               | 1,597 | 889               | 703            | 700               | 0,4        |
| 373          | 7,013               | 2,225 | 1 490             | 1 000          | 1 000             | 0          |
| 384          | 11,558              | 2,880 | 2 830             | 1 670          | 1 700             | -1,8       |
| 385          | 8,108               | 1,920 | 1 640             | 1 180          | 1 190             | -0,8       |
| 386          | 8,638               | 2,652 | 1 990             | 1 220          | 1 260             | -3,3       |
| 387          | 3,139               | 0,808 | 399               | 444            | 410               | 7,7        |
| 391          | 2,755               | 0,701 | 317               | 379            | 360               | 5,0        |
| 398          | 2,963               | 0,616 | 289               | 368            | 388               | -5,4       |
| 400          | 2,359               | 0,204 | 156               | 345            | 300               | 13,0       |
| 401          | 2,286               | 0,290 | 145               | 269            | 290               | -7,8       |
| 404          | 3,206               | 0,927 | 411               | 427            | 426               | 0,2        |
| 428          | 2,036               | 0,058 | 39,9              | 166            | 255               | -53,6      |
| 429          | 2,012               | 0,061 | 66,0              | 267            | 250               | 6,4        |

Une méthode pour développer le tarage à chute constante consiste à calculer d'abord le tarage à chute unitaire. Cette relation entre la hauteur et le débit peut ensuite être utilisée pour calculer les rapports des débits,  $Q/Q_n$ , pour chaque mesure de débit. Ces rapports doivent être représentés sur un graphique en fonction de la chute mesurée, ou des différences de limnimètre, en vue de définir la relation entre la chute et le rapport des débits. Cette courbe doit alors être utilisée pour améliorer la relation hauteur-débit. On doit continuer à améliorer les deux courbes jusqu'à ce qu'il y ait très peu ou pratiquement pas d'amélioration. Il faut normalement deux ou trois essais pour réaliser ceci. La relation hauteur-chute-débit qui en résulte est pareille au tarage à chute unitaire mais sans la supposition que la courbe des rapports varie comme une fonction de la racine carrée.

L'autre méthode de développement d'un tarage à chute constante consiste à développer une relation hauteur-débit correspondant à la chute moyenne dans le bief à plan incliné. Ceci donnera lieu à un tarage de la hauteur-débit correspondant plus approximativement aux conditions moyennes. La chute moyenne est calculée en prenant la moyenne arithmétique des chutes mesurées se présentant dans diverses conditions d'eau de retenue. Ce chiffre peut être arrondi à une valeur appropriée, et est désignée comme chute constante,  $F_n$ . Pour définir le tarage, tracer d'abord chaque débit mesuré divisé par la racine carrée de  $F/F_n$  en fonction de la hauteur correspondante sur le limnimètre de référence. La racine carrée ne doit être utilisée que pour commencer mais doit être ajustée plus tard. Ajuster une courbe aux points marqués et déterminer la valeur de courbe du débit,  $Q_n$ , pour chaque mesure de débit. Établir le tracé du rapport de  $Q/Q_n$  en fonction de la chute mesurée,  $F$ , pour chaque mesure de débit et ajuster une courbe à ces points. Améliorer les deux courbes en ajustant l'une tour à tour tout en maintenant l'autre constante. Deux ou trois essais seront normalement suffisants. Dans un souci de clarté, les variables désignées avec le signe ' sont celles qui sont déterminées directement d'une courbe de relation.

Les figures 2 et 3 et le tableau 2 représentent un tarage à chute constante développé à partir des mêmes données utilisées à la figure 1 et au tableau 1, et qui correspond à une chute constante de 1,3 m. Les tarages à chute unitaire et à chute constante donnent normalement les mêmes résultats et montrent que le tarage à chute unitaire serait aussi bon que le tarage à chute constante. Les deux tarages indiquent un pourcentage plus élevé d'erreurs dans la gamme des débits faibles, ainsi que l'on pouvait s'y attendre, du fait des conditions de mesure plus difficiles.

## 7 Méthode à chute variable

STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

### 7.1 Généralités

Les méthodes à chute variable peuvent être groupées en deux types suivants qui diffèrent en fonction de la façon dont le tarage hauteur-chute est défini :

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/195c9dd3-a058-4278-b7d0-415f30c3ee84/iso-tr-9123-1986>

- tarage à chute normale où la relation entre la hauteur et la chute est définie en traçant une courbe à travers les chutes moyennes observées à chaque niveau de jaugeage;
- tarage à chute limite ou à chute dénoyée où une relation entre la hauteur et la chute est établie qui représente la chute minimale affectée par l'eau de retenue.

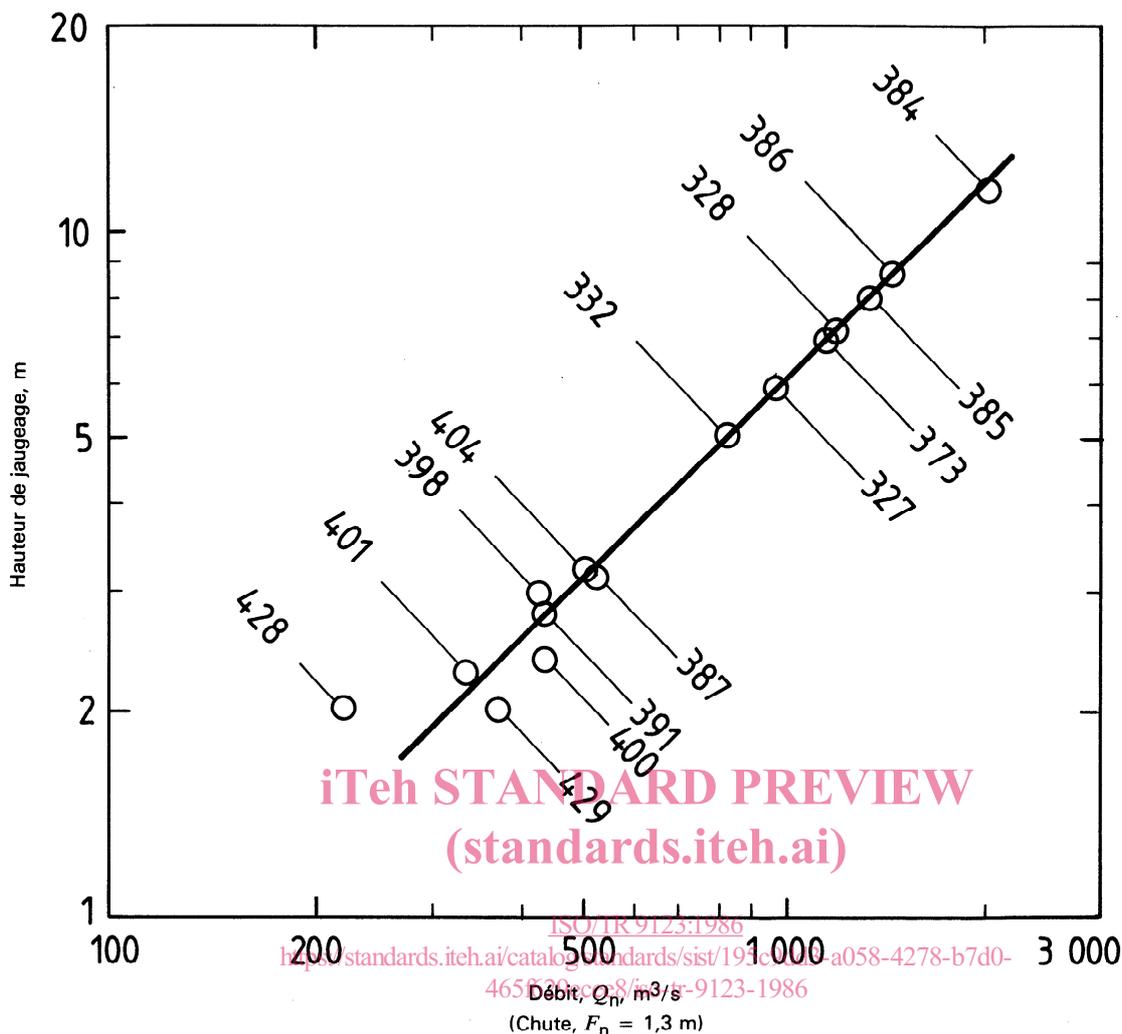
### 7.2 Méthode à chute normale

La méthode de développement d'un tarage à chute normale est pareille à celle pour le développement du tarage à chute limite et ne sera pas décrite ici en détail. Dans la méthode à chute normale, la relation hauteur-débit correspondra aux conditions de chute moyenne et ne peut être utilisée que lorsque l'eau de retenue est présente. Un tarage séparé de l'absence d'eau de retenue est nécessaire pour calculer le débit lorsqu'il y a des périodes où il n'y a pas d'eau de retenue. Pour cette situation, le débit doit être calculé à partir des deux tarages, et la plus petite des deux valeurs est considérée correcte.

### 7.3 Méthode à chute limite

La méthode à chute limite est la meilleure pour les situations où il y a des périodes où l'eau de retenue n'existe pas. La première étape dans la méthode à chute limite est d'établir le tracé de tous les débits mesurés en fonction de la hauteur du limnimètre de référence et de désigner chaque point avec la chute mesurée,  $F$ . Une courbe hauteur-débit doit être tracée de façon à passer par les mesures qui ne sont pas affectées par l'eau de retenue. La chute mesurée,  $F$ , doit être tracée sur un graphique séparé en fonction de la hauteur du limnimètre de référence. Une courbe doit être tracée passant par les points représentant la chute minimale, mais qui sont exempts d'eau de retenue. Pour la plupart des sites, il y aura des points aussi bien à droite qu'à gauche de cette courbe. Les points qui sont à droite représentent les chutes dépassant la chute limite ou minimale, qui est affectée par l'eau de retenue. D'où le nom de tarage à chute limite.

Les valeurs de  $Q_r'$  et  $F_r'$  doivent être déterminées à partir du tarage du débit et du tarage de la chute respectivement, pour chaque mesure de débit et les rapports  $Q/Q_r'$  et  $F/F_r'$  doivent être calculés. Ces rapports doivent être tracés les uns par rapport aux autres et une courbe moyenne de rapports doit être tracée. Chacune de ces trois courbes, la courbe hauteur-chute, la courbe hauteur-débit et la courbe des rapports doit être améliorée tour à tour en maintenant deux de ces courbes constantes tout en recalculant et en retraçant la troisième. Deux ou trois essais seront normalement suffisants.



NOTE — Les numéros sur le graphique correspondent aux numéros des mesures (voir tableau 2).

Figure 2 — Tarage à chute constante

Tableau 2 — Tarage à chute constante  
( $F_n = 1,3$  m)

| N° de mesure | Hauteur de jaugeage | $F$   | $Q$               | $F/F_n$ | $Q'_n$            | $Q/Q'_n$ | $(Q/Q'_n)'$       | $Q_n =$               | $Q = Q'_n \times$ | Différence de la valeur mesurée de $Q$ |
|--------------|---------------------|-------|-------------------|---------|-------------------|----------|-------------------|-----------------------|-------------------|--|
|              | m                   |       |                   |         | (de la figure 2)  |          | (de la figure 3)  | $\frac{Q}{(Q/Q'_n)'}$ | $(Q/Q'_n)'$       |  |
|              |                     | m     | m <sup>3</sup> /s |         | m <sup>3</sup> /s |          | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s     |                   |  |
| 327          | 5,907               | 1,917 | 1 160             | 1,475   | 980               | 1,184    | 1,185             | 979                   | 1 160             | 0                                      |
| 328          | 7,105               | 2,182 | 1 520             | 1,678   | 1 200             | 1,267    | 1,260             | 1 210                 | 1 510             | 0,7                                    |
| 332          | 5,026               | 1,597 | 889               | 1,228   | 825               | 1,078    | 1,075             | 827                   | 887               | 0,2                                    |
| 373          | 7,013               | 2,225 | 1 490             | 1,712   | 1 190             | 1,252    | 1,270             | 1 190                 | 1 510             | -1,3                                   |
| 384          | 11,558              | 2,880 | 2 830             | 2,215   | 2 030             | 1,394    | 1,396             | 2 030                 | 2 830             | 0                                      |
| 385          | 8,108               | 1,920 | 1 640             | 1,477   | 1 380             | 1,188    | 1,185             | 1 380                 | 1 640             | 0                                      |
| 386          | 8,638               | 2,652 | 1 990             | 2,040   | 1 480             | 1,345    | 1,350             | 1 470                 | 2 000             | -0,5                                   |
| 387          | 3,139               | 0,808 | 399               | 0,622   | 500               | 0,798    | 0,755             | 530                   | 378               | 5,3                                    |
| 391          | 2,755               | 0,701 | 317               | 0,539   | 440               | 0,720    | 0,700             | 440                   | 308               | 2,8                                    |
| 398          | 2,963               | 0,616 | 289               | 0,474   | 465               | 0,622    | 0,660             | 438                   | 307               | -6,2                                   |
| 400          | 2,359               | 0,204 | 156               | 0,157   | 375               | 0,416    | 0,350             | 446                   | 131               | 16,0                                   |
| 401          | 2,286               | 0,290 | 145               | 0,223   | 355               | 0,408    | 0,430             | 337                   | 153               | -5,5                                   |
| 404          | 3,206               | 0,927 | 411               | 0,713   | 510               | 0,806    | 0,805             | 511                   | 411               | 0                                      |
| 428          | 2,036               | 0,058 | 39,9              | 0,045   | 305               | 0,131    | 0,180             | 222                   | 54,9              | -37,6                                  |
| 429          | 2,012               | 0,061 | 66,0              | 0,047   | 303               | 0,218    | 0,175             | 377                   | 53                | 19,7                                   |

NOTE — Dans un souci de clarté, les variables désignées avec le signe ' sont celles qui sont déterminées directement d'une courbe de relation.

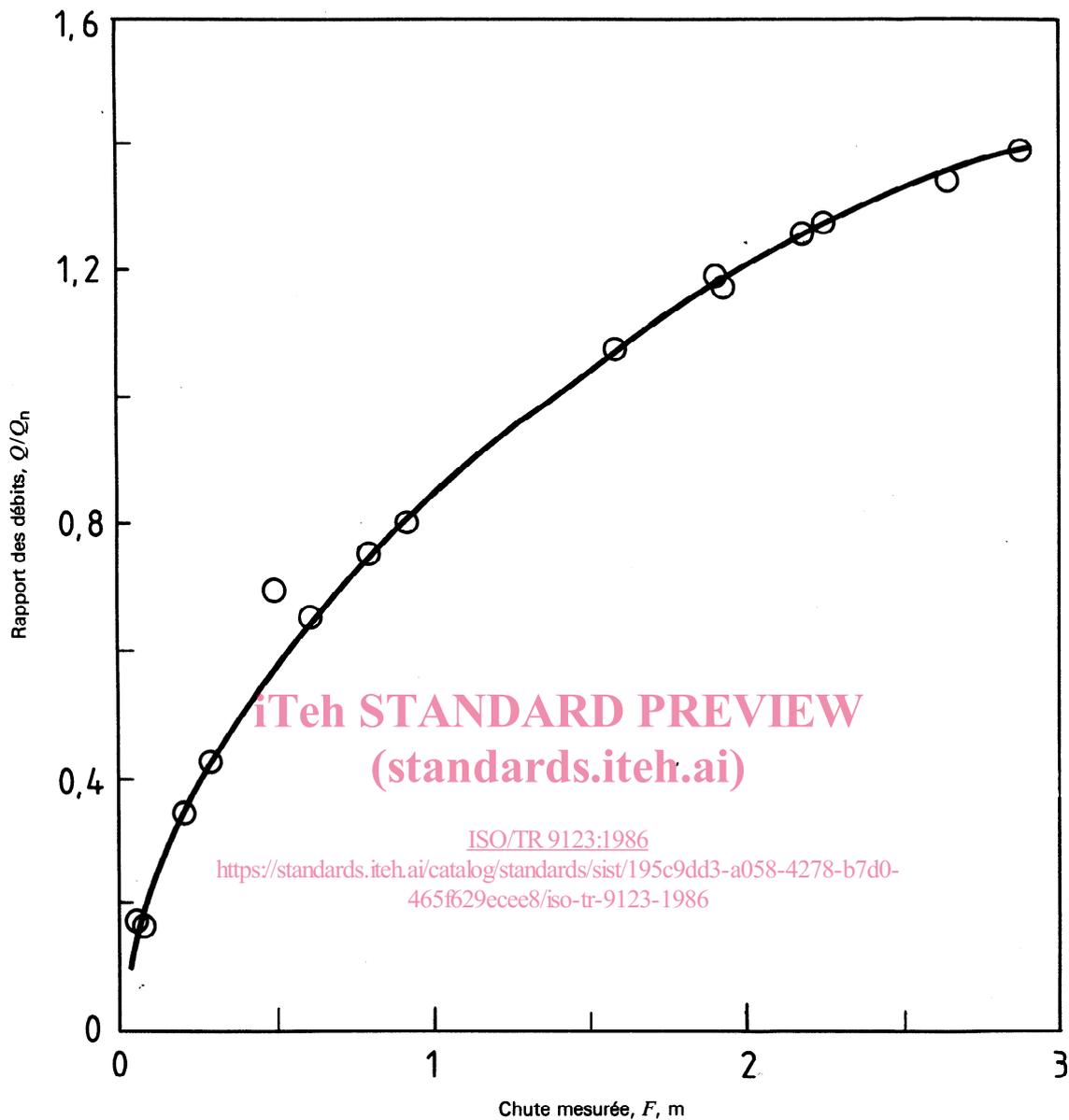
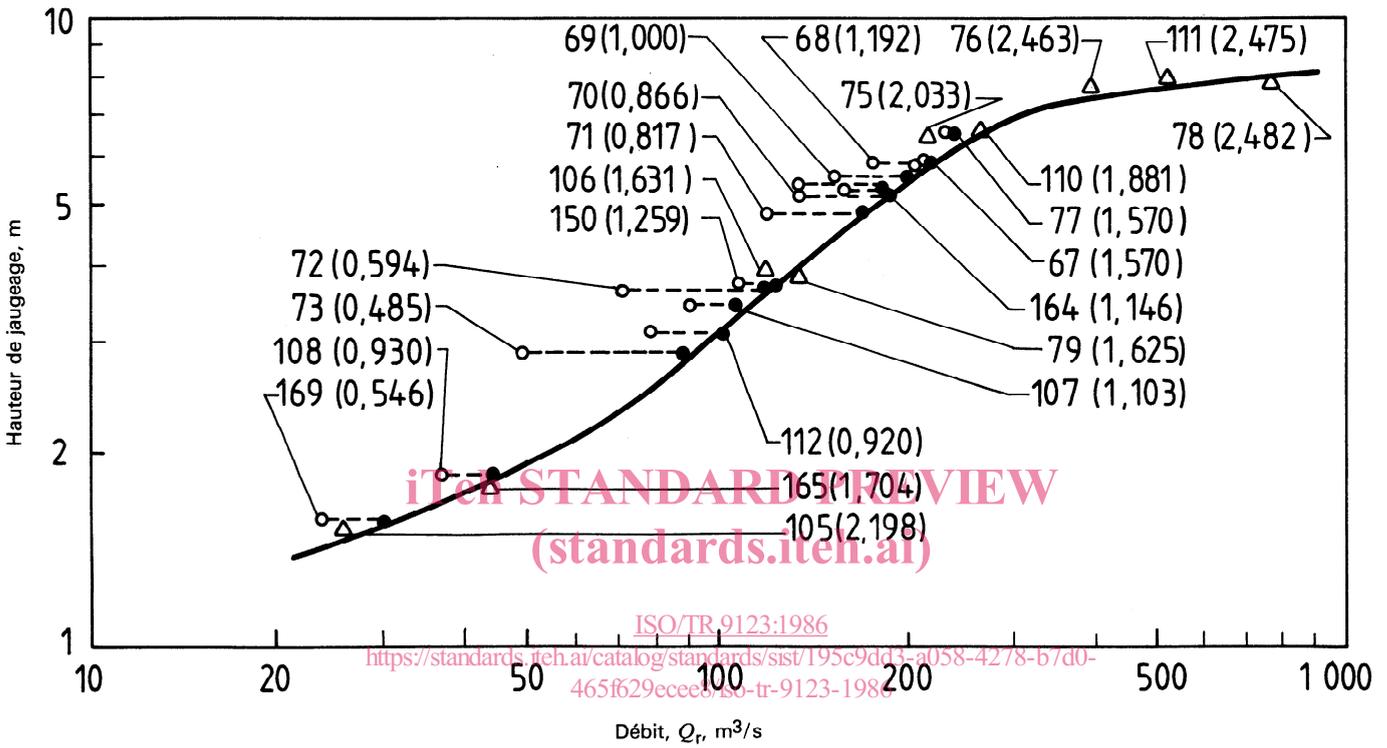


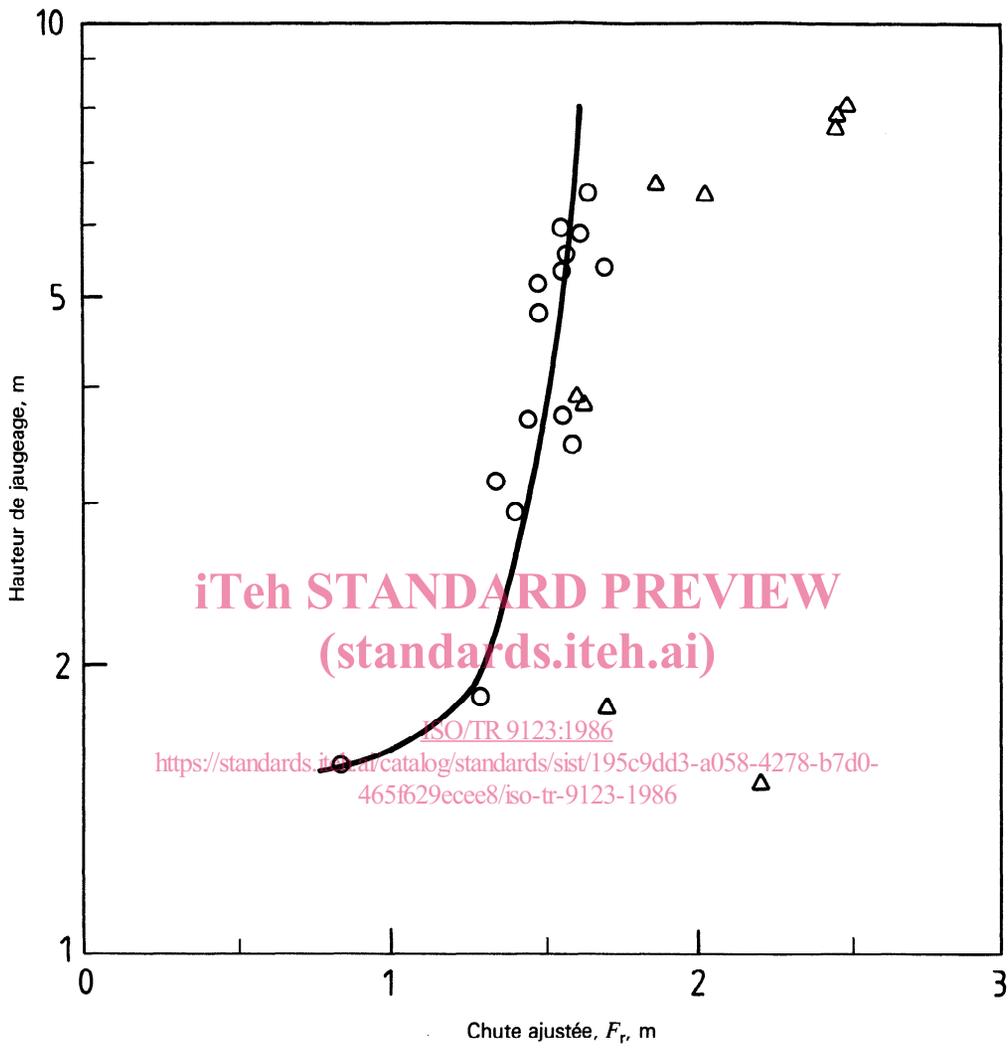
Figure 3 – Courbe des rapports à chute constante

Les figures 4, 5 et 6 et le tableau 3 représentent les résultats définitifs d'un tarage à chute limite dans le cas d'un site avec eau de retenue intermittente. Dans la figure 5, les points marqués indiquent la chute après ajustement par le rapport des chutes. Dans la méthode à chute limite, le tarage hauteur-débit est essentiellement un tarage de l'absence d'eau de retenue et peut être utilisé pour calculer le débit soit lorsque l'eau de retenue est présente soit lorsqu'elle ne l'est pas. C'est un avantage de la méthode à chute limite car un tarage séparé de l'absence d'eau de retenue n'est pas nécessaire comme dans le cas de tarage à chute normale. Le tarage à chute limite est le plus complexe de tous les divers tarages de chute, mais il sert à la meilleure utilisation des données disponibles.



NOTE — Les numéros sur le graphique correspondent au numéro avec la chute mesurée,  $F$ , donné entre parenthèses (voir tableau 3). Le signe  $\Delta$  est utilisé pour indiquer les mesures en l'absence d'eau de retenue.

Figure 4 — Tarage à chute limite



NOTE — Le signe  $\Delta$  est utilisé pour indiquer les mesures en l'absence d'eau de retenue.

Figure 5 — Relation hauteur-chute