

113

Norme internationale



1100/2

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

**Mesure de débit des liquides dans les canaux
découverts —
Partie 2 : Détermination de la relation hauteur-débit**

Liquid flow measurement in open channels — Part 2 : Determination of the stage-discharge relation

Première édition — 1982-06-15

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 1100-2:1982

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cf5af666-a037-43e5-9df1-7844235ea1ca/iso-1100-2-1982>

Avant-propos

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

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO.

La Norme internationale ISO 1100/2 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*, et a été soumise aux comités membres en mars 1980.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée : [ISO 1100-2:1982](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cf5af666-a037-43e5-9df1-784423524400/iso-1100-2-1982)

Allemagne, R.F.	Espagne	Royaume-Uni
Australie	Inde	Suisse
Brésil	Irlande	URSS
Canada	Norvège	USA
Chine	Pays-Bas	
Égypte, Rép. arabe d'	Roumanie	

Les comités membres des pays suivants l'ont désapprouvée pour des raisons techniques :

Autriche
France
Tchécoslovaquie

Cette Norme internationale annule et remplace la Norme internationale ISO 1100-1973, dont elle constitue une révision technique.

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts —

Partie 2 : Détermination de la relation hauteur-débit

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie des méthodes de détermination de la relation hauteur-débit pour une station de jaugeage. Pour pouvoir déterminer la relation hauteur-débit avec le degré d'exactitude requis par la présente Norme internationale, il faut un nombre suffisant de mesures de débit associées aux mesures de niveau correspondantes.

On considère les chenaux stables et instables, y compris ceux qui sont susceptibles de geler, mais il faut procéder avec le plus grand soin si l'on applique la présente Norme internationale dans des conditions où le débit varie brusquement ou rapidement.

Une analyse des erreurs limites qu'impliquent la préparation et l'utilisation de la relation hauteur-débit a été incluse.

2 Références

ISO 31, *Quantités, unités et symboles.*

ISO 555/1, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes de dilution pour le mesurage du débit en régime permanent — Partie 1 : Méthode d'injection à débit constant.*

ISO 555/2, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes de dilution pour le mesurage du débit en régime permanent — Partie 2 : Méthode par intégration (injection instantanée).*

ISO 748, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthode d'exploration du champ des vitesses.*

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

ISO 1000, *Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités.*

ISO 1070, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthode de la pente de la ligne d'eau.*

ISO 1088, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes d'exploration du champ des vitesses — Recueil des données pour la détermination des erreurs.*

ISO 1100/1, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Partie 1 : Établissement et exploitation d'une station de jaugeage.*

ISO 1438/1, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts en utilisant des déversoirs en mince paroi et canaux venturi — Partie 1 : Déversoirs en mince paroi.*

ISO 2537, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Moulinets à coupelles et à hélices.*

ISO 3454, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Matériel de sondage et de suspension.*

ISO 3455, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Étalonnage des moulinets à élément rotatif en bassins découverts rectilignes.*

ISO 3846, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs — Déversoirs à largeur de crête finie et à déversement dénoyés, (déversoirs rectangulaires à seuil épais).*

ISO 3847, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs — Méthode d'évaluation du débit par détermination de la profondeur en bout des chenaux rectangulaires à déversement dénoyé.*

ISO 4359, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de canaux jaugeurs.*¹⁾

ISO 4360, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs — Déversoirs à profil triangulaire.*

ISO 4363, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes de mesurage des sédiments en suspension.*

ISO 4364, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Échantillonnage des matériaux du lit.*

ISO 4366, *Mesure de la profondeur de l'eau — Sondeurs à écho.*

ISO 4369, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthode du canot mobile.*

ISO 4373, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Appareils de mesure du niveau de l'eau.*

ISO 4375, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Systèmes de suspension par câbles aériens pour le jaugeage en rivière.*

ISO 4377, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Déversoirs en V.*¹⁾

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

ISO 7066, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées — Évaluation des erreurs limites dans l'étalonnage et l'utilisation des dispositifs de mesure du débit — Partie 1 : Courbes d'étalonnage linéaire.*¹⁾

ISO/TR 7178, *Étude de l'erreur globale dans la mesure du débit par les méthodes d'exploration du champ des vitesses.*¹⁾

WMO n° 49, *Organisation météorologique mondiale — Réglementations techniques.*

WMO n° 168, *Organisation météorologique mondiale — Guide en matière de pratiques hydrologiques.*

3 Définitions et symboles

Dans le cadre de la présente Norme internationale, les définitions et symboles donnés dans l'ISO 772 sont applicables. Ceux qui ne sont pas couverts par l'ISO 772 sont donnés dans le texte de la présente Norme internationale. Une liste des symboles employés est incluse à la fin de la présente Norme internationale.

4 Unités de mesure

Les unités du Système International d'Unités (Unités SI) sont employées dans la présente Norme internationale conformément à l'ISO 31 et l'ISO 1000.

5 Principe de la relation hauteur-débit

La relation hauteur-débit est le rapport existant dans une station de jaugeage entre la hauteur et le débit. Les principes d'établissement et d'exploitation d'une station de jaugeage sont décrits dans l'ISO 1100/1.

6 Etalonnage d'une station de jaugeage

6.1 Préparation générale de la relation hauteur-débit

6.1.1 L'objet primaire d'une station de jaugeage consiste à fournir un relevé du débit du canal ou de la rivière où elle se trouve située. Ceci s'obtient en mesurant la hauteur et en la convertissant en débit au moyen de la relation hauteur-débit qui établit le rapport existant entre les débits et soit le niveau d'eau dans une section du canal, soit les mesures de niveau d'eau aux deux extrémités d'un bief. Dans le premier cas, on utilise une seule station de jaugeage. Dans le second cas, il faut une station de jaugeage jumelée et l'on adopte une procédure différente pour déterminer la relation hauteur-débit. Dans le cas d'une station de jaugeage étalonnée par exploration du champ des vitesses, la relation hauteur-débit est déterminée à partir des mesures de hauteur prises sur place et des débits correspondants; l'étalonnage ainsi établi n'est valable qu'aussi longtemps que les caractéristiques du bief ne se trouvent pas modifiées de manière appréciable. Du fait qu'une rivière évolue continuellement, ses caractéristiques sont sujettes à des changements qui risquent d'affecter l'étalonnage. Ces changements peuvent se produire graduellement du fait des phénomènes très lents d'affouillement ou d'alluvionnement ou ils peuvent se produire brusquement du fait de modifications du chenal. Par ail-

1) Actuellement au stade de projet.

leurs, des changements de nature temporaire peuvent être occasionnés par la croissance et le dépérissement des plantes aquatiques, par la formation et la rupture de la calotte de glace ou par l'accumulation de débris. Il est donc indispensable de surveiller continuellement la relation établie entre hauteur et débit de manière à s'assurer de sa validité et à pouvoir rétablir cette relation lorsqu'il s'avère qu'elle s'est trouvée affectée de manière appréciable par les changements qui ont pu se produire.

6.1.2 Selon la stabilité du chenal, on peut classer la relation hauteur-débit comme étant stable ou instable. Selon la définition acceptée, un chenal stable est un chenal dont la géométrie et les caractéristiques de frottement du lit et des rives restent constantes avec le temps. Inversement, un chenal instable est donc un chenal dont la géométrie et les caractéristiques de frottement varient avec le temps, c'est-à-dire que le chenal lui-même est variable. Toutefois, dans n'importe quel bief, qu'il soit stable ou instable, un phénomène transitoire naturel ou artificiel quelconque risque d'affecter le rapport existant effectivement entre la hauteur et le débit au moment où il se produit. Il est donc possible qu'un chenal stable se comporte comme un bief instable. Dans tous les cas, l'instabilité dans une relation de hauteur-débit résulte des conditions variables de l'eau arrêtée pour un débit donné au site de jaugeage concerné et ceci est vrai également pour les changements de la vitesse d'approche moyenne à une hauteur donnée du fait des conditions d'instabilité se produisant en amont du site de jaugeage quoique l'effet ainsi remarqué soit une manifestation secondaire plutôt que primaire.

Dans toutes les circonstances où l'eau arrêtée est variable à un débit donné un chenal stable fournira une relation hauteur-débit stable lorsqu'il est possible d'inclure en tant que paramètre dans la relation de débit la ligne d'eau dans le bief en question.

6.2 Relation hauteur-débit stable

6.2.1 La relation entre hauteur et débit s'obtient au moyen de mesures visant à établir la corrélation entre les mesures de débit et les observations correspondantes de hauteur. Cette corrélation peut s'obtenir manuellement en combinant des moyens graphiques et mathématiques ou en faisant appel aux techniques de l'ordinateur (voir annexe A).

6.2.2 L'expression la plus simple de la relation hauteur-débit est un tracé sur papier à graphiques comportant des divisions arithmétiques où les débits sont tracés selon l'axe des abscisses alors que les hauteurs correspondantes sont indiquées selon l'axe des ordonnées. Du fait que le débit varie parfois d'un ordre de grandeur à un autre en passant par des ordres intermédiaires, il est parfois plus commode de tracer la relation sur du papier simple ou double avec divisions logarithmiques. La hauteur employée pour le tracé doit être la hauteur moyenne pondérée durant la période de mesure de débit selon le calcul fourni par les équations

$$\bar{z} = \frac{\sum q_i \bar{z}_i}{Q}$$

$$q_i = b_i d_i \bar{v}_i$$

où

\bar{z} est la hauteur d'eau moyenne au-dessus du zéro de l'échelle;

q_i est le débit dans la $i^{\text{ème}}$ portion de profil en travers;

\bar{z}_i est le niveau d'eau moyen de la $i^{\text{ème}}$ portion de profil en travers correspondant au débit q_i ;

Q est le débit total et égal à la somme $\sum q_i$;

b_i est la largeur de la $i^{\text{ème}}$ portion de profil en travers;

d_i est la profondeur de la $i^{\text{ème}}$ portion de profil en travers;

\bar{v}_i est la vitesse moyenne dans la $i^{\text{ème}}$ portion de profil en travers.

Une représentation schématique de la méthode est donnée sur la figure 1.

6.2.3 Il convient de tracer à la main une courbe régulière au travers des nuages de points de données pour détecter les points qui risquent d'être erronés. Dans le cas d'un seul contrôle, on peut généralement exprimer la relation au moyen d'une courbe de puissance selon l'équation $Q = C (h + a)^\beta$ (voir annexe A). Dans le cas d'un contrôle multiple, il est possible que l'on doive exprimer la relation au moyen de plusieurs courbes de puissance avec des inflexions et inversions de la courbe indiquant les changements résultant de l'influence d'un contrôle ou d'un autre. Si l'on a corrigé les mesures de hauteur pour qu'elles correspondent à un zéro coïncidant avec la hauteur où le débit devient nul, dans ce cas sur un papier logarithmique double, la relation entre $(h + a)$ et Q donnera un tracé en ligne droite ou une série de lignes droites et autrement la relation entre h et Q donnera le tracé d'une courbe.

6.2.4 Il convient de définir la courbe au moyen d'un nombre suffisant de mesures réparties de manière appropriée sur toute la plage des niveaux d'eau. Ce nombre de mesures dépendra de la plage qu'il faut couvrir, de la forme de la courbe et de l'exactitude souhaitée mais il est souhaitable d'effectuer des mesures à intervalles plus serrés aux extrémités inférieure et supérieure de la plage. L'exactitude que l'on obtient est donnée par la valeur de « l'erreur-type de la relation moyenne » (voir chapitre 8) et si l'on considère que cette valeur est inacceptable, il convient d'effectuer un plus grand nombre de mesures de débit.

6.2.5 Il convient d'examiner la courbe au point de vue hystérésis (voir annexe B). Dans la mesure du possible, les mesures doivent être prises à une hauteur stable mais, dans le cas contraire, il convient d'indiquer au moyen de symboles distinctifs les mesures prises lorsque la hauteur monte ou baisse. Dans la plupart des stations de jaugeage, on s'apercevra qu'il y a une tendance pour qu'un jaugeage effectué en période de crue donne un débit plus important qu'un jaugeage effectué à la même cote, mais en période de décrue. De ce fait, les mesures de hauteur effectuées en crue se trouvent généralement au-dessous et les mesures de hauteur effectuées en décrue généralement au-dessus d'une courbe établie pour des conditions de hauteur stable. Dans le cas des chenaux stables, on peut généralement adopter une courbe moyenne.

6.2.6 Il convient d'obtenir l'équation pour la courbe ou de traiter la courbe comme étant un relevé purement graphique. L'équation peut être calculée mathématiquement selon la procédure des moindres carrés (voir annexe A). Autrement, l'ordinateur peut préparer les équations hauteur-débit directement à partir des données de jaugeage mais il est encore recommandé d'établir le tracé des jaugeages pour pouvoir le vérifier au préalable afin de déterminer s'il convient de les diviser en différentes plages pour un traitement distinct. Il ne faut utiliser les techniques d'informatique que là où l'on peut dire que les mesures de débit ont un poids connu.

6.3 Relation hauteur-débit instable

6.3.1 Chenaux instables

Dans les chenaux instables, la géométrie du chenal et les caractéristiques de frottement et, de ce fait, les caractéristiques de contrôle, varient continuellement avec le temps de même que la relation hauteur-débit en un point donné du chenal. Ces variations du contrôle se manifestent tout particulièrement durant et après les périodes d'inondation, par temps de gel et durant les périodes de croissance et de dépérissement des herbes aquatiques dans les chenaux qui ont tendance à être envahis par la végétation. Dans un grand nombre de cas de ce genre, il est possible de parvenir à des évaluations acceptables du débit durant les périodes où il n'est pas possible de prendre des mesures réelles en procédant de la manière suivante : tous les débits mesurés sont indiqués sur le graphique en fonction des hauteurs correspondantes et chaque point est étiqueté dans l'ordre chronologique. On examine alors comment se répartissent les points en cas de détarages du système de contrôle en ce qui concerne l'ordre chronologique et, à condition de posséder suffisamment de valeurs mesurées, il est possible de tracer des courbes régulières pour les périodes où il n'y a peu ou pratiquement pas de détarage et à partir de ces courbes on peut alors évaluer les débits selon le contexte chronologique correct dans l'année hydraulique en question. Lorsque la croissance de la végétation est une cause d'instabilité, l'effet général est saisonnier. Durant la saison de croissance, les plantes aquatiques augmentent graduellement le frottement et réduisent la portée du chenal du fait que l'eau retenue en conséquence exige des hauteurs de plus en plus élevées pour produire un débit donné. Au fur et à mesure que les plantes aquatiques dépérissent, on note l'effet inverse. Après une inondation et à mesure que la nouvelle végétation s'établit, la grandeur des corrections négatives de détarage du système de contrôle à appliquer à un tarage de base (effet de l'eau de retenue) augmentera de nouveau.

6.3.2 Biefs instables

Quoique la géométrie et les caractéristiques de frottement du chenal dans un bief de mesure puissent être stables en elles-mêmes, il n'existera pas un rapport simple et invariable entre la hauteur et le débit si les caractéristiques du chenal ne déterminent pas dans l'ensemble la profondeur d'écoulement pour un débit donné. Une telle perte du contrôle d'ensemble, du fait des conditions anormales affectant l'eau de retenue, peut résulter de la croissance de la végétation, de l'afflux d'eau en provenance de tributaires en aval, d'une régulation artificielle en aval, de l'influence de la marée, de la glace ou de plusieurs de ces

facteurs à la fois. Il est possible aussi que l'on puisse faire face effectivement au problème de la croissance de la végétation en procédant de la manière décrite en 6.3.1, mais là où le problème est dû au fait que l'afflux d'un tributaire ou de tributaires produit des quantités d'eau de retenue variables, il faut mesurer les pentes de la ligne d'eau tout en procédant à des mesures de hauteur au site de jaugeage.

Dans les biefs où un système de régulation artificielle détermine la profondeur d'écoulement aux fins de la navigation, il est possible que les pentes de ligne d'eau soient extrêmement faibles, notamment en dessous du débit moyen et qu'il soit impraticable d'utiliser les méthodes conventionnelles d'évaluation de débit en employant la pente de la ligne d'eau comme paramètre. L'une des solutions possibles alors, et elle est généralement complexe, consiste à étalonner la structure régulatrice contrôlant le bief mais la présence du trafic fluvial et les effets produits par les manœuvres fréquentes des écluses introduisent des problèmes supplémentaires et, de toute manière, l'étalonnage de la plage inférieure de débits serait nécessairement une hypothèse théorique là où les vitesses du bief seront probablement largement au-dessous de la limite inférieure d'étalonnage des moulinets et où la fuite non mesurable au-delà des joints de vanne de déversoir est alors importante par rapport au débit total.

Lorsqu'un tel déversoir comporte un grand nombre de vannes de différentes sortes et de différentes dimensions, il peut y avoir un nombre considérable de permutations et de combinaisons d'ouvertures de vanne susceptibles de maintenir le même niveau dans le cours supérieur à un débit donné. En même temps, la supposition que le débit d'un nombre quelconque de vannes situées de manière aléatoire parmi un groupe de vannes de même type correspondra au débit théorique d'une vanne typique multiplié par le nombre de vannes identiques ouvertes peut fort bien s'avérer manifestement erroné notamment lorsque l'ouverture partielle des vannes est autorisée car ceci ne tient pas compte des changements relatifs de l'interférence hydraulique entre les vannes. Dans le cas des systèmes de déversoir comprenant des éléments obliques ou dans l'alignement de l'axe du chenal d'approche, le problème risque de se trouver aggravé par la présence de pentes d'eau d'amont et d'eau d'aval importantes le long de la ligne d'eau du déversoir, de sorte que les niveaux de la ligne d'eau relativement à certaines vannes particulières ne peuvent être évalués que très approximativement, à moins que l'on ne mesure simultanément les niveaux de la ligne d'eau en un nombre d'endroits suffisant le long du déversoir.

Pour l'étalonnage sur place des déversoirs de régulation, là où les limitations pratiques de la situation et des méthodes disponibles pour la mesure indépendante du débit restreignent l'étalonnage à un nombre relativement faible de débits sélectionnés dans les limites de la plage opérationnelle du déversoir, il est inévitable que l'on doive formuler certaines hypothèses concernant la correspondance hydraulique s'établissant entre les différents types de vannes de déversoir et une partie très importante de la procédure d'étalonnage consistera donc à identifier les séquences types d'ouverture et de fermeture des vannes du déversoir et à faire en sorte que celles-ci soient respectées durant l'étalonnage mais aussi par la suite en tant que procédures d'exploitation habituelles. D'une manière générale, de telles procédures types dépendront essentiellement de la conception structurale et hydraulique du déversoir et des exigences associées à l'exploitation et à l'environnement mais, dans certaines

circonstances, l'intérêt de l'hydrométrie sera sans doute suffisamment important pour justifier l'adoption à la fois de conceptions hydrauliques et de procédures d'exploitation particulièrement favorables à l'évaluation uniforme des débits.

Dans les biefs stables par ailleurs, mais sujets à l'influence de la marée seulement durant la période des grandes marées, il est parfois possible de définir un rapport stable entre la hauteur et le débit en procédant à des mesures de débit seulement au moment de la marée basse mais l'emploi d'une telle relation doit se limiter aux évaluations du débit au moment de la marée basse. D'une manière générale, dans le cas des biefs réglés et pour les biefs affectés par les marées, la solution peut consister à utiliser les méthodes faisant appel aux ultrasons (acoustiques) et autres pour la mesure continue de la vitesse moyenne à la section mouillée de jaugeage.

Lorsqu'un bief instable contient un chenal instable, les effets des détarages de contrôle sur la relation entre hauteur, pente de ligne d'eau et débit seront manifestes tout comme pour la relation hauteur-débit dans un chenal instable lorsque celui-ci n'est pas sujet à une retenue d'eau anormale et la validation des courbes de la relation en fonction du temps s'effectuerait selon la procédure décrite en 6.3.1.

6.3.2.1 Contrôles de détarage

L'expression **contrôle de détarage** telle qu'elle est employée ordinairement dans le contexte de la mesure du débit dans les chenaux a trait à la situation qui se produit lorsque les relations hauteur-débit ne restent pas permanentes mais varient de temps à autre, soit graduellement soit de manière soudaine, du fait de changements affectant les caractéristiques physiques qui constituent le contrôle pour la station.

Une courbe hauteur-débit conservera sa forme initiale seulement aussi longtemps que les éléments qui constituent le contrôle conservent leurs caractéristiques physiques initiales ou aussi longtemps que les changements des caractéristiques se compensent mutuellement en ce qui concerne l'effet qu'ils produisent sur la hauteur d'eau à la jauge. L'effet d'un détarage du système de contrôle aboutit généralement à un changement de hauteur pour un débit donné ou, vice versa, à un changement du débit indiqué par le tarage pour une hauteur donnée. En conséquence, si différents facteurs comme la croissance de la végétation ou des plantes aquatiques, l'accumulation de glace ou la confluence (eau de retenue) des cours d'eau tributaires qui affectent la permanence de la relation hauteur-débit, occasionnent un changement de hauteur, ces changements des relations hauteur-débit résultant des détarages du système de contrôle peuvent être considérés comme s'ils résultaient directement de l'affouillement ou de l'envasement ou d'autres changements normaux des caractéristiques physiques du lit ou des rives du cours d'eau. Si les mesures de débit indiquent que la relation hauteur-débit a changé par rapport à une définition antérieure, il est possible d'utiliser les corrections de détarage du système de contrôle (addition ou soustraction relativement à la hauteur de jauge) ou de modifier le relevé de hauteur de jauge de manière à ce que la hauteur effective à l'échelle concorde avec le tarage et le débit mesuré. Lorsque le relevé de hauteur de jauge est modifié, il est important que l'intégrité de relevé de hauteur soit maintenue. Il est possible d'appliquer les corrections de détarage du système de contrôle avec le temps et/ou la hauteur.

La fréquence des changements affectant les relations hauteur-débit du fait de modifications affectant les conditions de contrôle et l'ordre de grandeur de ces changements dépendent généralement des conditions climatiques, topographiques, géologiques, végétales et pédologiques existant dans la vallée ou dans la région où s'écoule le cours d'eau. Toutefois, la cause primaire de changement est généralement l'affouillement ou l'envasement du chenal résultant de vitesses et/ou de débits d'eau élevés. Les conditions de détarage du système de contrôle sont parfois d'une telle complexité qu'il est difficile d'anticiper les changements qui peuvent se produire ou d'analyser positivement les changements qui se sont produits.

Il n'existe aucune solution satisfaisante qui pourrait remplacer les mesures de débit lorsqu'il s'agit de définir les corrections de détarage durant les périodes de détarage du système de contrôle notamment pour les valeurs maximales des hauteurs. Il convient donc de faire tout le nécessaire pour obtenir des mesures de débit aux extrêmes de la hauteur. De même, rien ne saurait remplacer l'expérience et la connaissance de la sensibilité de contrôle lorsqu'il s'agit d'analyser le relevé hauteur-débit en utilisant les corrections de détarage du système de contrôle pour la détermination de débit.

6.3.2.2 Détarage du système de contrôle du fait du gel

Lorsque les températures sont très basses, une calotte de glace se forme sur les cours d'eau au début de l'hiver et l'on note une décrue générale de l'écoulement de ceux-ci jusqu'au moment où commence la montée des eaux au printemps. L'effet de la glace sur la relation hauteur-débit est lié essentiellement au régime glaciaire et à l'épaisseur de la glace tandis que l'exactitude du calcul dépend essentiellement du moment choisi pour les mesures de débit et de leur fréquence. Les mesures de débit doivent être effectuées avant et après la formation de la calotte de glace pour déterminer la réduction initiale du débit, à intervalles appropriés pour définir la décrue de l'écoulement sous la calotte de glace et avant et après la rupture de la glace pour déterminer à quel moment la relation entre la hauteur de l'eau découverte et le débit devient applicable. On mesurera l'épaisseur de glace chaque fois que l'on procède à une mesure de débit.

Les méthodes employées pour calculer les débits journaliers sont les suivantes :

6.3.2.2.1 Hauteurs lues à l'échelle effectives (hauteurs effectives)

Les hauteurs lues à l'échelle effectives sont calculées pour chaque mesure de débit en utilisant la relation hauteur-débit de l'eau découverte. Les hauteurs lues à l'échelle effectives sont alors indiquées sur un hydrogramme des valeurs moyennes journalières et l'on obtient par interpolation un hydrogramme des valeurs des hauteurs à l'échelle effectives entre les mesures de débit en se basant sur l'hydrogramme des hauteurs. Les débits moyens journaliers doivent être calculés en utilisant les hauteurs lues à l'échelle effectives et la relation entre la hauteur et le débit de l'eau découverte.

6.3.2.2.2 Eau de retenue

On calcule pour chaque mesure de débit la différence de hauteur entre la hauteur lue à l'échelle effective et la hauteur enre-

gistrée (eau de retenue). Les valeurs de l'eau de retenue entre les mesures de débit sont obtenues par interpolation en se basant sur la température ambiante, l'épaisseur de la glace ou sur d'autres données hydrologiques. On détermine alors les hauteurs lues à l'échelle effectives en soustrayant l'eau de retenue des hauteurs lues à l'échelle moyennes journalières. Les débits moyens journaliers doivent être calculés en utilisant les hauteurs lues à l'échelle effectives et la relation hauteur-débit de l'eau découverte.

6.3.2.2.3 Eau de retenue modifiée

On utilise les mesures de débit pour calculer K dans la relation :

$$B = K \log Q_e / Q_i$$

où

B est l'eau de retenue en unités de hauteur appropriées;

K est la constante;

Q_e est le débit équivalent exempt de glace découlant de la relation hauteur-débit;

Q_i est le débit lors de la formation de la glace.

On obtient la valeur de K par interpolation entre les mesures de débit et la valeur de B calculée pour chaque jour au moyen de l'équation. Les débits moyens journaliers doivent être calculés comme indiqué en 6.3.2.2.2.

6.3.2.2.4 Relation entre hauteur lue à l'échelle et eau de retenue

Les mesures de débit servent à déterminer la relation existant entre la hauteur lue à l'échelle et l'eau de retenue, l'eau de retenue étant calculée comme dans 6.3.2.2.2. Si la relation est raisonnablement bien définie, il est possible de calculer les valeurs journalières d'eau de retenue en utilisant la hauteur lue à l'échelle moyenne journalière. Les débits moyens journaliers doivent être calculés comme en 6.3.2.2.2.

6.3.2.2.5 Débit corrigé

On calcule les débits d'eau découverte équivalents d'après les hauteurs lues à l'échelle et la relation hauteur-débit d'eau découverte et l'on prépare un hydrogramme de débit. Les résultats des mesures de débit sont indiqués sur cet hydrogramme et l'on interpole un hydrogramme des débits journaliers entre les mesures de débit en se basant sur un hydrogramme de débits équivalents d'eau découverte. Les débits moyens doivent être déterminés directement à partir de l'hydrogramme en question.

6.3.2.2.6 Débit interpolé

Les débits moyens journaliers doivent être déterminés par interpolation directe, généralement linéaire ou linéaire logarithmique, entre les valeurs de débit obtenues par mesurage. L'interpolation peut être modifiée grâce à l'emploi des relevés de température ambiante et du relevé de hauteur, ces dernières données permettant une interprétation plus exacte.

6.3.2.2.7 Courbe de décrue

Les grands cours d'eau, notamment les cours d'eau possédant une accumulation importante dans un lac, peuvent manifester une forme de décrue semi-logarithmique à partir du moment où une calotte de glace se forme jusqu'à la rupture de la calotte de glace. La formule mathématique générale de l'équation est la suivante :

$$Q_2 = Q_1 K^{-\Delta t}$$

où

Q_2 est le débit au temps t_2 ;

Q_1 est le débit au temps t_1 ;

K est la constante de décrue;

Δt est l'intervalle de temps écoulé ($t_2 - t_1$).

Si la pente de la courbe de décrue (K) est invariable d'année en année, il est possible d'utiliser une seule mesure de débit pour définir la décrue. On doit utiliser les débits moyens journaliers pour calculer l'équation de décrue ou établir un tracé graphique semi-logarithmique.

6.3.2.2.8 Courbe de tarage hivernal

Certains cours d'eau, notamment les plus gros, ont parfois un régime glaciaire qui est tellement consistant d'un hiver à l'autre qu'il est possible de définir une relation hivernale hauteur-débit. Une fois que l'existence d'une telle relation a été vérifiée au moyen d'une mesure de débit, les débits moyens journaliers doivent être calculés à partir de la relation hauteur-débit hivernale et des hauteurs lues à l'échelle.

Il est possible qu'une ou plusieurs des méthodes de calcul ci-dessus s'avèrent satisfaisantes pour le calcul du débit moyen journalier sous la calotte de glace à une station de jaugeage particulière. Il conviendrait de tester plusieurs méthodes et d'adopter la méthode donnant les meilleurs résultats en tant que méthode type pour la station de jaugeage.

6.3.3 Évaluation impliquant la pente de ligne d'eau (chute d'eau)

Dans le cas des biefs instables, il faut pour pouvoir évaluer la relation hauteur-débit, posséder, en outre, la valeur de la chute entre deux jauges de référence situées à l'intérieur du bief en question dont l'une est la jauge de référence de la station de jaugeage.

Le relevé sur un graphique des observations hauteur-débit en fonction de la valeur de la chute pour chaque observation révélera si la relation est affectée par la pente variable à toutes les hauteurs ou si elle est affectée seulement lorsque la chute tombe en dessous d'une certaine valeur. En l'absence de toute régulation du chenal, le débit serait constamment affecté par la chute et la correction s'applique de la manière indiquée dans la méthode à chute constante (voir annexe C). Lorsque le débit n'est affecté que si la chute tombe en dessous d'une valeur particulière, on applique la méthode à chute normale (voir annexe C).

6.4 Extrapolation de la relation hauteur-débit

Il est souhaitable de ne pas appliquer une courbe hauteur-débit ailleurs que pour la plage d'observations sur laquelle elle est basée. Si toutefois des estimations de débit (écoulement) sont nécessaires, il convient de les identifier ainsi en tenant compte de la portée, du nombre et de la qualité des observations qui ont été effectuées, des caractéristiques naturelles de la station de jaugeage et des conditions de débit (d'écoulement) en fonction du temps. On ne peut pas vraiment se fier à l'extrapolation au-delà de la plus basse des valeurs observées (voir annexe D).

6.5 Tableau de tarage

Il est possible de préparer directement un tableau de tarage à partir de la courbe ou des courbes hauteur-débit ou à partir de l'équation ou des équations de la courbe (des courbes) où les débits correspondant aux hauteurs figurent dans l'ordre croissant et à intervalles convenables pour permettre le degré d'interpolation souhaité. On peut le faire commodément au moyen d'un programme d'ordinateur en utilisant la relation hauteur-débit. Il peut être utile toutefois de programmer les données pour l'évaluation par l'ordinateur en utilisant les équations hauteur-débit sans avoir recours à un tableau de tarage.

7 Méthodes d'essai des courbes hauteur-débit

7.1 Les courbes doivent exprimer invariablement la relation hauteur-débit de manière objective et, donc, doivent être essayées pour s'assurer de l'absence de déviation et de la bonne qualité de la concordance dans les périodes s'écoulant entre les détarages du contrôle ainsi que pour les détarages du contrôle. On trouvera également dans l'annexe A les méthodes permettant de localiser les détarages du contrôle dans les courbes hauteur-débit résultant soit de changements physiques des caractéristiques du chenal, soit de changements se produisant avec le temps.

7.1.1 Test de déviation pour contrôler les jaugeages (test 1)

Aussi longtemps que les jaugeages de contrôle se situent dans la bande d'erreur limite S_e du graphisme sans déviation significative, on peut considérer que la relation hauteur-débit établie est valable. On recommande un test comme le test «t» de Student pour décider si les jaugeages de contrôle peuvent être acceptés comme faisant partie de l'échantillon homogène d'observations pour établir la courbe hauteur-débit. Un tel test indiquera si oui ou non la relation hauteur-débit exige un nouveau calcul ou s'il convient de réétalonner la section.

7.1.2 Lorsqu'on effectue un test quelconque de déviation, les jaugeages de contrôle doivent porter sur une période de temps homogène comme, par exemple, l'année hydrologique ou une saison d'hiver ou d'été.

7.1.3 Un exemple du test «t» de Student (test 1) est donné dans l'annexe A (voir tableau 5).

7.1.4 Tests de déviation pour les chenaux instables (tests 2 et 3)

Dans le cas des chenaux stables où le contrôle est uniforme et reste inchangé, il sera possible d'adapter une courbe mathématique de la manière expliquée dans le chapitre 6. Plus fréquemment, même dans un chenal stable, là où la courbe doit être tracée selon une estimation visuelle, par exemple, lorsque la section n'est pas uniforme, les tests décrits pour les chenaux instables s'avèreront également nécessaires.

7.1.5 Dans le cas des chenaux instables naturels, des contrôles différents se manifestent à différentes hauteurs au cours de différentes années de sorte que l'on a non seulement des courbes différentes l'une de l'autre pour la baisse des eaux et la montée des eaux et qui sont différentes d'année en année mais aussi des inflexions et des discontinuités résultant des détarages du contrôle à une certaine hauteur. La quantité excessive de travail qu'impliquerait l'ajustement de courbes extrêmement composites exclut la possibilité de les utiliser en pratique. Il faut donc tracer les courbes de montée des eaux et de baisse des eaux qui sont les mieux ajustées en procédant à une estimation visuelle et celles-ci doivent être donc testées séparément pour les différentes sections entre les détarages de contrôle pour l'absence de déviation et pour la bonne concordance.

7.1.6 Pour l'absence de déviation, on connaît deux tests. L'un de ces tests consiste à tester la courbe pour s'assurer qu'elle satisfait aux exigences fondamentales selon lesquelles on s'attend à ce qu'un nombre à peu près égal de points se trouvent au-dessus et en dessous d'une courbe non déviée de sorte que les écarts soient seulement ceux qui sont dus à des fluctuations aléatoires (test 2). Dans l'autre, le test vise à établir que la somme algébrique des écarts sous forme de pourcentages des débits observés par rapport à une courbe non déviée ne devrait pas différer d'une manière appréciable de zéro et le test consiste à comparer la moyenne des écarts sous forme de pourcentages à l'erreur-type (test 3).

7.1.7 Test de bonne concordance (test 4)

Pour la bonne concordance, on emploie un test pour vérifier que le changement de signe des écarts (c'est-à-dire la valeur observée moins la valeur attendue d'après la courbe) est aussi probable qu'un non changement de signe. Ce test aide aussi à détecter les détarages du contrôle à différentes hauteurs (test 4).

7.1.8 Il est aussi important pour l'analyste d'essayer de comprendre pourquoi les mesures suivent un tel tracé sur la relation hauteur-débit, plutôt que d'appliquer certains essais statistiques. L'analyste doit examiner ce qu'il est devenu des caractéristiques de contrôle du cours d'eau pour pouvoir comprendre pourquoi les diverses mesures suivent un tel tracé.

7.2 Les tests recommandés en 7.1.1, 7.1.4 et 7.1.7 sont décrits en détail dans l'annexe A avec des exemples expliquant leur application.

8 Erreur limite dans la relation hauteur-débit et dans une mesure de débit continue

8.1 Différentes méthodes permettant d'évaluer les erreurs limites de la relation hauteur-débit, ainsi que le débit moyen journalier, le débit moyen mensuel et le débit annuel sont données dans l'annexe A (voir A.3). Le présent chapitre fournit quelques exemples de la marche à suivre.¹⁾

8.1.1 Exemples de calcul pour S_e et S_{mr}

En utilisant la classification de la courbe hauteur-débit du tableau 1 pour la courbe dans la figure 2, la classification requise pour S_e et S_{mr} est donnée dans le tableau 3 où les logarithmes sont à base 10.

S_e d'après l'équation A.3.2.3 a) donne

$$S_e = t \left[\frac{31}{30} \left(\frac{12,336\ 4}{31} - \frac{1,530\ 1^2 \times 5,266\ 5}{31} \right) \right]^{1/2}$$

$$= t (0,000\ 2)^{1/2}$$

$$= 2 \times 0,014\ 14 \times 2,3 \times 100$$

$$= \pm 6,2\ \%$$

S_e d'après l'équation A.3.2.3 b) donne

$$S_e = t \left(\frac{0,005\ 48}{30} \right)^{1/2}$$

$$= 2 \times 0,013\ 5 \times 2,3 \times 100$$

$$= \pm 6,2\ \%$$

S_e d'après l'équation de A.3, note 6, donne

$$S_e = t \left(\frac{291,18}{30} \right)^{1/2}$$

$$= 2 \times 3,115$$

$$= \pm 6,2\ \%$$

Le calcul de $S_{mr} (X_Q)$ pour chacune des 32 observations part de l'équation de A.3.2.4 comme suit :

Pour l'observation n° 1, $S_{mr} = t S_e \left(\frac{1}{32} + \frac{0,351\ 2}{5,266\ 5} \right)^{1/2}$

$$= 6,2 \times 0,313$$

$$= \pm 1,94\ \%$$

Pour l'observation n° 18, $S_{mr} = t S_e \left(\frac{1}{32} + 0 \right)^{1/2}$

$$= 6,2 \times 0,177$$

$$= \pm 1,1\ \%$$

Pour l'observation n° 32, $S_{mr} = t S_e \left(\frac{1}{32} + \frac{0,518\ 3}{5,266\ 5} \right)^{1/2}$

$$= 6,2 \times 0,360$$

$$= \pm 2,23\ \%$$

NOTES

1 Les valeurs S_{mr} du tableau 3 ont été calculées par un programme d'ordinateur et peuvent donc s'écarter légèrement des valeurs ci-dessus.

2 L'équation $S_{mr} = \frac{S_e}{\sqrt{N}}$ donne $S_{mr} = \frac{6,2}{\sqrt{32}} = 1,1\ \%$

ce qui correspond à la valeur de $\frac{\log h + a}{\sqrt{32}} = -0,211\ 45$

8.1.2 Exemple de calcul pour l'erreur limite du débit moyen journalier X_{dm}

Le calcul se déroule comme suit :

a) Calculer $X_{(h+a)}$ pour chacune des valeurs N de débit, employées pour calculer la moyenne journalière, d'après l'équation donnée en A.3.3.6.

b) Calculer X_{dm} d'après l'équation donnée en A.3.3.3 (ou A.3.3.4) en utilisant la valeur appropriée pour $X_Q (S_{mr})$.

On trouvera dans le tableau 4 un calcul typique des valeurs horaires de débit.

1) Dans l'annexe 3, chapitre A.3, l'analyse statistique prend en considération chaque segment de la courbe de tarage entre points d'inflexion. Ces segments sont traités séparément et la figure 2 montre un tel segment. L'analyse statistique convient lorsqu'une transformation logarithmique est possible.

Annexe A

Courbe hauteur-débit

A.1 Équation hauteur-débit

Pour de nombreux usages, le relevé graphique obtenu en relevant les débits mesurés sur du papier à graphiques comportant des divisions arithmétiques peut suffire mais il est parfois plus commode d'utiliser un tracé logarithmique.

On peut généralement exprimer la relation hauteur-débit à une station au moyen d'une équation se présentant sous la forme de $Q = Ch^\beta$ (où Q est le débit, h la hauteur lue à l'échelle et C et β sont des coefficients) pour toute la plage des débits ou, plus souvent, en utilisant deux équations semblables, ou plus, ayant trait chacune à une portion de la plage.

Si le zéro de la jauge ne coïncide pas avec le débit nul, il faut appliquer une correction a à h de sorte que l'équation devienne

$$Q = C(h + a)^\beta$$

Une équation de ce type donne un tracé rectiligne sur un papier à graphiques comportant des divisions logarithmiques. Par conséquent, si l'on relève les points avec Q sur l'axe des abscisses et h sur l'axe des ordonnées sur un papier de ce type, il devrait être possible de tracer une ou plusieurs lignes droites passant par les points. On peut estimer que l'alignement des points pourrait être amélioré en ajoutant ou en soustrayant à h une petite quantité constante qui est a dans l'équation ci-dessus. Le montant qui donne le meilleur alignement rectiligne peut être adopté comme étant la valeur de a . Autrement, on peut déterminer la quantité a en considérant les niveaux de la section de contrôle par rapport au débit nul.

Une autre méthode que l'on adopte pour déterminer a est la suivante :

Les points sont relevés sur une échelle ordinaire (arithmétique) et l'on trace une courbe régulière en procédant à une estimation visuelle. On sélectionne trois valeurs de débit Q_1 , Q_2 et Q_3 selon une progression géométrique c'est-à-dire

$$Q_2^2 = Q_1 Q_3$$

Si les valeurs correspondantes des relevés de niveau d'après la courbe sont h_1 , h_2 et h_3 , il est possible de vérifier que

$$a = \frac{h_2^2 - h_1 h_3}{h_1 + h_3 - 2h_2}$$

On décrit ci-dessous une méthode graphique pour déterminer a . Comme ci-dessus, on sélectionne trois valeurs de débit selon une progression géométrique. À supposer que les points correspondants de la courbe soient A, B et C (voir figure 3).

On trace des traits verticaux passant par A et B et on trace par B et C des traits horizontaux dont les intersections avec les traits verticaux seront respectivement D et E. On peut supposer que le point d'intersection de DE et AB soit F. Dans ce cas, l'ordonnée de F est la valeur de a .

Après avoir obtenu, sur un papier à divisions logarithmiques, le meilleur alignement des différentes droites définissant la relation, il est possible de traiter le graphique comme étant un relevé purement graphique ou on peut l'utiliser pour déterminer les constantes de l'équation. Dans ce dernier cas, la constante C est représentée par la valeur de Q là où $(h + a)$ est l'unité. La constante β est l'inverse de la pente de la ligne droite que l'on peut obtenir directement d'après le tracé.

Au lieu de la procédure ci-dessus, il est possible d'effectuer l'opération mathématiquement en utilisant la procédure des moindres carrés pour obtenir l'équation correspondant à la meilleure ligne droite passant par les points. Cette opération peut s'effectuer comme suit :

Il faut d'abord fixer la constante a pour chaque équation soit sur la base de l'examen des niveaux, soit au moyen d'un tracé logarithmique selon la procédure décrite plus haut. On peut alors obtenir les valeurs de C et β à partir des équations suivantes :

$$\Sigma(Y) - N(\log C) - \beta \Sigma(X) = 0$$

$$\Sigma(XY) - \Sigma(X)(\log C) - \beta \Sigma(X^2) = 0$$

$\Sigma(Y)$ est la somme de toutes les valeurs de $\log Q$;

$\Sigma(X)$ est la somme de toutes les valeurs de $\log(h + a)$;

$\Sigma(X^2)$ est la somme de toutes les valeurs du carré de X ;

$\Sigma(XY)$ est la somme de toutes les valeurs du produit de X et Y ;

N est le nombre d'observations.

On peut simplifier la préparation des données et la résolution de l'équation en employant une classification telle que celle qui est employée dans le tableau 1 ou en faisant appel à l'ordinateur. Le tableau 2 donne la classification correspondante permettant de déterminer les points de traçage ou un tableau de détarage.

On peut voir le tracé de la courbe hauteur-débit sur la figure 2.

A.2 Tests de déviation

A.2.1 Chenaux stables

Dans le cas des chenaux stables, on s'aperçoit généralement qu'il suffit d'avoir une courbe pour la montée des eaux et une courbe pour la baisse des eaux, à moins que la rivière ne comporte une pente abrupte ou ne soit sujette à des crues éclairs; il arrive parfois qu'une même courbe soit applicable avec une zone de dispersion étroite durant plusieurs années.

Le test 4 doit être appliqué à la courbe d'essai et si elle satisfait à ce test en plus des tests 1, 2 et 3, on peut considérer que la courbe est exempte de déviation. Avec un peu de pratique, on devrait pouvoir tracer du premier coup une courbe satisfaisant aux tests 2, 3 et 4 à la fois.

Parmi les courbes satisfaisant à tous ces tests, on choisira comme étant la meilleure celle qui donne la moindre erreur-type. La courbe sera, bien entendu, régulière. L'écart-type de la différence en pourcentage des débits observés à partir de la courbe ne devrait normalement pas être supérieure à l'écart-type des observations de débit pour la méthode de mesure employée.

A.2.2 Chenaux instables

Outre le détarage du contrôle à un niveau particulier du fait qu'un contrôle différent commence à se manifester, comme c'est le cas dans certains chenaux stables, les chenaux instables manifestent une autre particularité, c'est-à-dire un détarage du contrôle par rapport au temps ou à l'intensité des inondations ainsi qu'aux phénomènes résultants d'affouillement et d'envasement saisonniers. On note des différences significatives des hauteurs lues à l'échelle pour le même débit lors de la montée des eaux et de la baisse des eaux et un changement complet de régime se manifeste après l'inondation maximale de l'année. Des montées peu importantes des eaux se produisant notamment durant la saison des eaux claires peuvent également occasionner des détarages du contrôle.

Les chenaux qui sont sujets au gel ou qui présentent des différentes caractéristiques comme la présence de végétation aquatique ou de végétation recouvrant la surface manifestent également des détarages du contrôle par rapport au temps.

Il est possible de détecter ces détarages du contrôle en suivant les déviations (positives et négatives) des débits observés d'après les courbes d'essai dans l'ordre chronologique.

L'année hydrologique doit être subdivisée selon les périodes pendant lesquelles on a la même relation hauteur-débit et des courbes distinctes doivent être tracées pour chaque période. Ces courbes devront, en outre, satisfaire aux tests 2, 3 et 4. Par ailleurs, l'écart-type des différences en pourcentage pour chaque courbe doit être suffisamment faible comme indiqué dans le cas des chenaux stables.

A.2.3 Tests pour l'absence de déviation et la bonne concordance

Les tests énumérés ci-dessous peuvent être appliqués à certaines portions de courbes, chaque portion individuelle étant testée séparément au point de vue déviation.

A.2.3.1 Test 1 – Test «t» de Student (voir tableau 5 et 7.1.1)

A.2.3.2 Test 2 – Absence de déviation (signes)

Les déviations positives et négatives des valeurs observées sur la courbe hauteur-débit tracée selon une estimation visuelle

doivent être réparties de manière uniforme, c'est-à-dire que la différence de nombre entre les deux groupes de déviations ne doit pas être supérieure à ce qu'il est possible d'expliquer du fait des fluctuations aléatoires.

On applique le test pour trouver si la courbe a été tracée d'une manière suffisamment équilibrée de sorte que les deux séries de valeurs de débit, à savoir les valeurs observées et les valeurs estimées (d'après la courbe), peuvent raisonnablement être considérées comme représentant la même population. C'est là un test très simple et il est possible de l'effectuer en comptant les points observés qui tombent d'un côté ou de l'autre de la courbe. Si Q_i est la valeur observée et Q_c la valeur estimée, dans ce cas $Q_i - Q_c$ devrait avoir autant de chances d'être positif ou négatif. En d'autres termes, la probabilité de $Q_i - Q_c$ d'être positif sont de 1/2. De ce fait, à supposer que les signes successifs soient indépendants les uns des autres, on peut considérer que la séquence des différences est répartie selon la loi binômiale $(p + q)^N$, N représentant le nombre des observations et p et q , les probabilités d'incidence de valeurs positives et négatives, à savoir 1/2.¹⁾

A.2.3.3 Test 3 – Absence de déviation (valeurs)

Le troisième test vise à déterminer si une courbe particulière hauteur-débit produit en moyenne des sous-estimations ou des surestimations significatives par rapport aux observations réelles sur lesquelles elle est basée. On calcule les différences en pourcentage,

$$\frac{(Q_i - Q_c) \times 100}{Q_c} = P$$

et l'on en fait la moyenne. Si l'on a N observations et que $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_N$ sont les différences sous forme de pourcentage, et si \bar{P} est la moyenne de ces différences, l'erreur-type S_e de \bar{P} est donnée par l'équation :

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum (P_i - \bar{P})^2}{N(N - 1)}}$$

le pourcentage moyen \bar{P} est testé par rapport à son erreur-type pour voir si celle-ci s'écarte de manière appréciable de zéro.

On a considéré les différences en pourcentage du fait qu'elles sont plutôt indépendantes du volume de débit et se répartissent normalement aux alentours d'une valeur moyenne de zéro pour une courbe exempte de déviation.

A.2.3.4 Test 4 – Bonne concordance

Ce test s'effectue pour de longues séries d'écart positifs et négatifs des valeurs observées sur la courbe hauteur-débit.

Ce test vise à produire une concordance constante par rapport aux écarts applicables aux différentes hauteurs.

Ce test est basé sur le nombre de changements de signe dans la série d'écart (valeur observée moins valeur attendue). Écrire les signes des écarts des mesures de débit dans l'ordre croissant de hauteurs commençant à partir du deuxième signe de la série, écrire sous chaque «0» si le signe concorde ou un «1» s'il

1) Voir page 11.