



## Fiche 3.1 : Dimensionnement d'une échancrure dans un seuil hydrométrique



Rédacteur : Le Coz Jérôme, [jerome.lecoz@irstea.fr](mailto:jerome.lecoz@irstea.fr)

Vérificateurs : M. Lang (Irstea), F. Larrarte (Ifsttar), P. Marchand (IRD)

Mise à jour :

11 octobre 2017

### 1. Contexte

La connaissance précise des basses eaux des cours d'eau revêt une grande importance pour la gestion des ressources hydriques et la qualité des habitats écologiques (Tisserand et al., 2017, Marchand et al., 2017). Or l'incertitude relative (en %) des bas débits calculés par une courbe de tarage hauteur-débit est en général très forte, à cause d'un manque de stabilité et/ou de sensibilité du contrôle hydraulique des bas débits. La **stabilité** du contrôle est souvent mise à mal par des modifications de la géométrie du lit et de la section de contrôle, que ce soit par l'action des crues, des hommes (travaux, baigneurs...), des animaux (bétail, castors...) ou de la végétation (végétation aquatique, embâcles...). Pour un débit donné, la **sensibilité** du contrôle est surtout déterminée par la largeur au miroir de l'écoulement. Une section de contrôle naturelle est souvent plate sur tout ou partie de la largeur du cours d'eau, ce qui entraîne une lame déversante très peu épaisse (quelques centimètres voire millimètres) à l'étiage. Une variation significative du débit ne provoque alors qu'une faible variation du niveau d'eau, qui est le paramètre mesuré avec une incertitude de quelques millimètres à quelques centimètres. L'incertitude de mesure du niveau d'eau se propage alors à travers une courbe de tarage très peu sensible, d'où une incertitude (en pourcentage) très importante de l'estimation du débit instantané ainsi que des débits moyens et caractéristiques d'étiage (Horner et al., 2017).

Pour pallier ce problème on construit une section de contrôle artificielle, c'est-à-dire un seuil (ou déversoir) hydrométrique, en aval du point de mesure du niveau d'eau, ou alors on profite de l'existence d'un seuil pour installer le point de mesure en amont. Par sa géométrie inérodable, la section de contrôle est alors stable, aux embâcles près. Pour améliorer la sensibilité du contrôle à bas débit, il faut que le seuil ait une crête incurvée (dans le plan vertical) ou qu'il comporte un rétrécissement ou une échancrure, de façon que la largeur au miroir se réduise à mesure que le débit diminue.

Malheureusement, les seuils hydrométriques, même munis d'une échancrure, peuvent poser des problèmes pour la **continuité écologique** des cours d'eau (Tisserand et al., 2017), aussi bien piscicole que sédimentaire. Aujourd'hui ils sont de plus en plus souvent menacés de destruction, alors que des modifications de leur conception sont à rechercher pour concilier continuité écologique et qualité des mesures des bas débits (Marchand et al., 2017), qui sont également d'une importance cruciale pour

l'écologie. Découper une échancrure dans un seuil existant est souvent une option à considérer pour améliorer ces deux aspects d'un seuil hydrométrique.

Cette note propose quelques considérations pratiques pour le dimensionnement hydraulique rapide de telles échancrures ou encoches, pour des géométries simples : **section rectangulaire, triangulaire, trapézoïdale ou parabolique**. Seule la relation hauteur-débit est abordée ici ; les conditions hydrauliques et la franchissabilité de l'ouvrage devront être considérées en outre, en fonction du site et des espèces à enjeu. La vitesse d'écoulement dans l'échancrure pourra être estimée en divisant le débit par la section mouillée, mais vitesse et hauteur de chute ne sont pas les seules conditions de franchissabilité. Notamment, la forme de l'écoulement et la rugosité du fond jouent un rôle important (Tisserand et al., 2017, Marchand et al., 2017). Le dimensionnement hydraulique proposé ici est fondé sur des équations simplifiées pour des déversoirs idéaux dénoyés de géométrie simple. On peut s'attendre à une incertitude typique de  $\pm 20\%$  sur les débits estimés, variable selon les conditions d'application. Une modélisation hydraulique numérique pourra (parfois) permettre d'affiner le calcul.

## 2. Facteurs à considérer

Chaque site est susceptible de présenter des contraintes spécifiques en termes de géométrie, d'hydraulique, de continuité sédimentaire et piscicole, etc. Les facteurs suivants sont le plus souvent importants à considérer pour le dimensionnement de l'échancrure (voir exemple Figure 1) :

- Le **débit maximal** que l'on cherche à faire passer dans l'échancrure, avant débordement sur les « banquettes » que constituera le seuil existant (cf. Figure 1). Ce débit maximal dépend surtout de la surface mouillée de l'échancrure, donc de sa forme, de sa hauteur et de sa largeur.
- **Forme** : les échancrures ont le plus souvent une forme rectangulaire ou triangulaire, mais il peut être avantageux de considérer les formes intermédiaires trapézoïdale ou parabolique, qui représentent un compromis entre la meilleure sensibilité aux très bas débits du triangle (largeur décroissante) et la meilleure sensibilité du rectangle aux débits avant débordement, pour une section mouillée équivalente. De plus, contrairement à la pointe du triangle, l'extrémité tronquée du trapèze ou celle arrondie de la parabole peuvent éventuellement diminuer l'accumulation d'embâcles (feuilles mortes, débris, etc.). Dans certaines situations, ménager des formes arrondies (au lieu d'arêtes vives) pour les crêtes du seuil et de l'échancrure est une possibilité pour réduire l'interception de corps flottants. Ce n'est cependant pas toujours nécessaire, et cela complique un peu la réalisation et surtout l'hydraulique, plus difficile à modéliser proprement. La mise en place d'une approche convergente (entonnoir) en amont de l'échancrure peut également réduire la susceptibilité aux embâcles. On s'écarte néanmoins à nouveau des conditions du déversoir idéal, avec une mise en vitesse à l'amont et un ouvrage qui se rapproche d'un canal jaugeur (Venturi, Parshall, V-flume...), possible alternative aux déversoirs proprement dits.
- **Hauteur** : elle détermine la surface mouillée et donc le débit maximal dans l'échancrure, mais aussi la hauteur de pelle (à l'amont) et la hauteur de chute (à l'aval). Une hauteur de pelle suffisante rend plus précise l'application de l'équation hydraulique, tandis que la hauteur de chute doit être suffisante pour maintenir le fonctionnement dénoyé de l'ouvrage. La hauteur de chute est également déterminante pour la continuité écologique et est soumise à des contraintes réglementaires. En pratique, on n'a souvent pas besoin d'une grande hauteur de chute pour un fonctionnement dénoyé pour les bas débits visés pour la mesure.

- **Largeur (au plein bord)** : elle détermine la surface mouillée et donc le débit maximal dans l'échancrure, mais aussi et surtout la sensibilité du contrôle, et donc la précision des mesures des bas débits. La largeur et la forme de l'échancrure jouent également sur la susceptibilité aux embâcles.
- **Conditions d'approche** : les équations hydrauliques de déversoir sont en principe valables pour un écoulement amont régulier, rectiligne, avec contraction des filets d'eau contre le seuil, et sans « mise en vitesse », c'est-à-dire que les vitesses en amont de l'ouvrage sont suffisamment faibles pour que la charge dynamique ( $V^2/(2g)$ ) soit négligeable devant la charge hydrostatique (épaisseur de la lame d'eau déversante). Les conditions d'approche, notamment en cas de chenal incurvé, déterminent également la susceptibilité de l'ouvrage au dépôt sédimentaire (ensablement...) et aux embâcles. Il peut dans certains cas être préférable de décentrer l'échancrure au sein du seuil existant. Plus généralement, on cherchera à minimiser les éventuels impacts hydro-morphologiques liés à ce type d'ouvrage : affouillement en aval, ensablement en amont, surélévation du plan d'eau amont, etc.

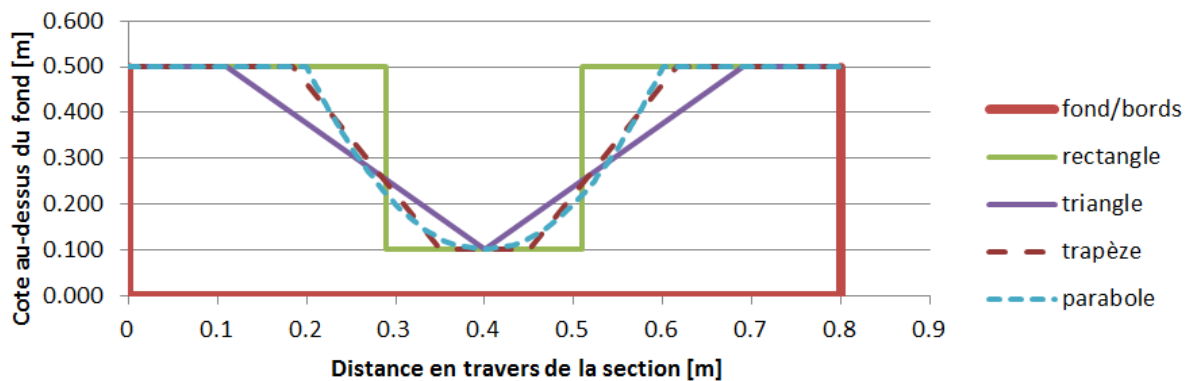


Figure 1 : Exemple d'échancrures rectangulaire, triangulaire, trapézoïdale et parabolique dimensionnées pour la même hauteur de chute et à peu près le même débit maximal avant débordement sur les banquettes (100 L/s).

### 3. Equations hydrauliques des déversoirs

Les équations hydrauliques simplifiées suivantes (Le Coz et al., 2011, BaRatinAGE v2.1, 2016) sont valides pour un déversoir idéal, dénoyé (c'est-à-dire sans que la hauteur d'eau aval n'ait d'influence sur la hauteur d'eau amont) et une vitesse d'approche faible (charge dynamique négligeable devant la charge hydrostatique). Ces équations expriment le débit  $Q$  en fonction de la hauteur d'eau (ou niveau d'eau)  $H$ . Comme elles sont disponibles dans l'Assistant a priori du logiciel [BaRatinAGE](#), il est possible de calculer les courbes de tarage « a priori » (c'est-à-dire sans jaugeages) correspondant à ces déversoirs ainsi que l'enveloppe d'incertitude associée. Pour une présentation plus exhaustive des formules hydrauliques de déversoirs, le lecteur peut se référer au guide du Cetmef (Laborie et Ladreyt, 2005), au manuel de Lencastre (1986), aux normes relatives aux déversoirs à paroi mince (ISO 1438, 2008) et à seuil épais (NF X10-315, 1990), ainsi qu'aux autres références données dans le chapitre « Méthodes hydrauliques » du guide Onema/Cemagref (Le Coz et al., 2011).

## Déversoir rectangulaire

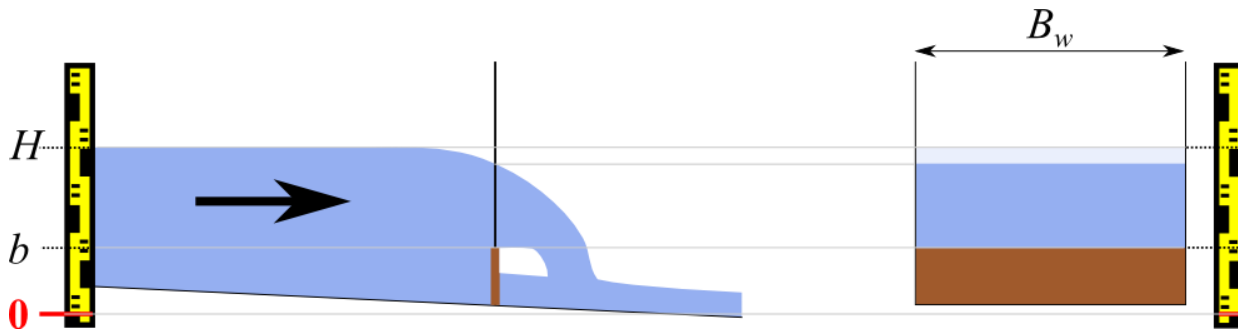


Figure 2 : Déversoir rectangulaire : vue en long (à gauche) et vue en travers de la section de contrôle (à droite).

L'équation d'un déversoir rectangulaire (Figure 2) est :

$$Q(H) = C_r \sqrt{2g} B_w (H - b)^c \quad (1)$$

Avec :

- $C_r$  = coefficient de débit  $\approx 0.4 \pm 0.1$
- $g$  = accélération de la gravité  $\approx 9.81 \pm 0.01 \text{ m/s}^2$
- $b$  = la cote (en m) de la crête du déversoir ;
- $B_w$  = la largeur déversante (en m), i.e. la longueur transversale du déversoir, perpendiculairement à la direction de l'écoulement ;
- $c$  = exposant pour une section critique rectangulaire  $\approx 1.5 \pm 0.05$

## Déversoir triangulaire



Figure 3 : Déversoir triangulaire : vue en long (à gauche) et vue en travers de la section de contrôle (à droite).

L'équation d'un déversoir triangulaire (Figure 3) est :

$$Q(H) = C_t \sqrt{2g} \tan(v/2) (H - b)^c \quad (2)$$

Avec :

- $C_t$  = coefficient de débit  $\approx 0.31 \pm 0.05$  ;
- $g$  = accélération de la gravité  $\approx 9.81 \pm 0.01 \text{ m/s}^2$  ;
- $b$  = la cote (en m) de la pointe du déversoir ;
- $v$  = l'angle d'ouverture du triangle (en degrés) ;
- $c$  = exposant pour une section critique triangulaire  $\approx 2.5 \pm 0.05$

### Déversoir trapézoïdal

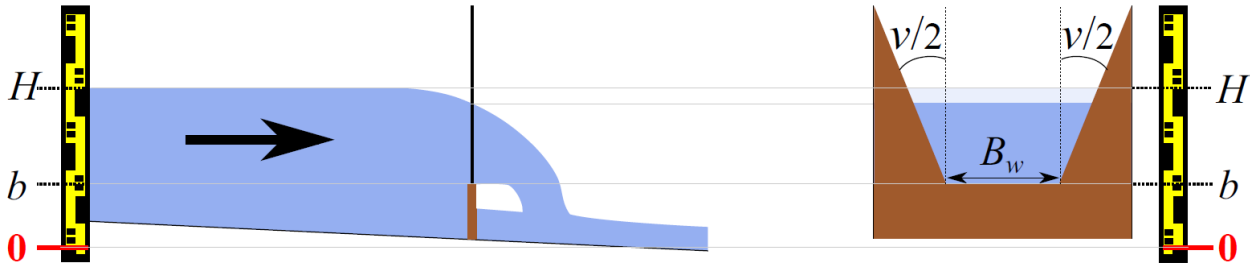


Figure 4 : Déversoir trapézoïdal : vue en long (à gauche) et vue en travers de la section de contrôle (à droite).

Le plus simple est de former l'équation d'un déversoir trapézoïdal (Figure 4) comme la somme d'un déversoir rectangulaire (au centre) et d'un déversoir triangulaire (sur les bords) :

$$Q(H) = C_r \sqrt{2g} B_w (H - b)^c + C_t \sqrt{2g} \tan(v/2) (H - b)^{c'} \quad (3)$$

Avec :

- $C_r$  = coefficient de débit  $\approx 0.4 \pm 0.1$
- $g$  = accélération de la gravité  $\approx 9.81 \pm 0.01 \text{ m/s}^2$
- $b$  = la cote (en m) de la crête du déversoir ;
- $B_w$  = la largeur déversante (en m), i.e. la longueur transversale du déversoir, perpendiculairement à la direction de l'écoulement ;
- $c$  = exposant pour une section critique rectangulaire  $\approx 1.5 \pm 0.05$  ;
- $C_t$  = coefficient de débit  $\approx 0.31 \pm 0.05$  ;
- $v$  = l'angle d'ouverture du triangle (en degrés) ;
- $c'$  = exposant pour une section critique triangulaire  $\approx 2.5 \pm 0.05$

### Déversoir parabolique

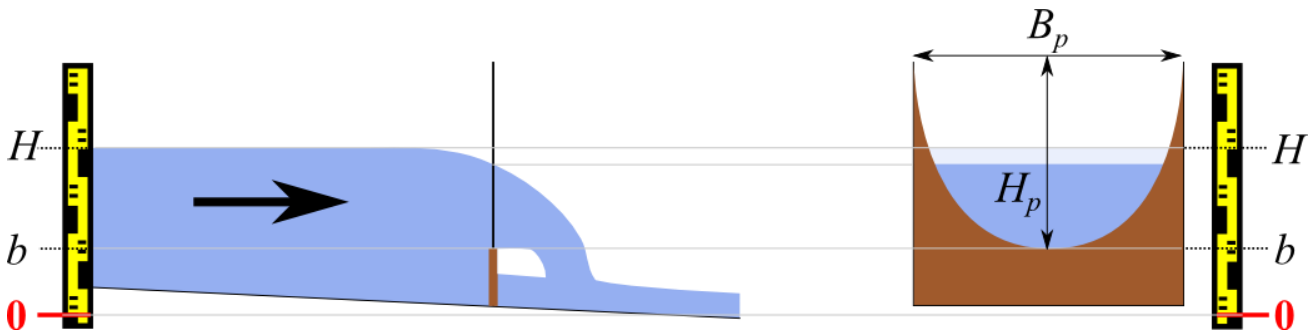


Figure 5 : Déversoir parabolique : vue en long (à gauche) et vue en travers de la section de contrôle (à droite).

En ré-arrangeant les résultats de Igathinathane et al. (2007), l'équation d'un déversoir parabolique (Figure 5) est :

$$Q(H) = C_p \sqrt{2g} \frac{B_p}{\sqrt{H_p}} (H - b)^c \quad (4)$$

Avec :

- $C_p$  = coefficient de débit  $\approx 0.22 \pm 0.04$  (cf. Igathinathane et al. 2007) ;
- $g$  = accélération de la gravité  $\approx 9.81 \pm 0.01 \text{ m/s}^2$  ;
- $b$  = la cote (en m) de la crête du déversoir au centre de la parabole ;
- $B_p$  et  $H_p$  = respectivement la largeur et la hauteur de la parabole (en m), mesurés à la même cote (par exemple au plein-bord) ;
- $c$  = exposant pour une section critique parabolique  $\approx 2.0 \pm 0.05$

**Note.** Le coefficient de débit semble être plus grand que 0,22 pour les déversoirs paraboliques les plus larges : selon les résultats d'Igathinathane et al. (2007),  $C_p \approx 0.25$  pour  $B_p = 2 H_p$ . Nous ne disposons pas d'information précise sur le coefficient des déversoirs paraboliques très larges ou à seuil épais.

#### 4. Sensibilité du contrôle

A partir de ces équations simplifiées, les courbes de tarage théoriques des quatre échantures rectangulaire, triangulaire, trapézoïdale et parabolique proposées en exemple (cf. Figure 1) sont tracées sur la Figure 6. Par construction, les trois courbes de tarage convergent vers le même débit maximal (100 L/s) avant débordement sur les banquettes (0.50 m) mais elles présentent des courbures et donc des sensibilités différentes. Cette sensibilité, exprimée comme la variation relative de débit (en %) pour une variation de hauteur d'eau de 1 mm, est représentée sur la Figure 7. Plus cette variation relative de débit, ou « poids du millimètre » est grande, moindre est la sensibilité du contrôle. Quelle que soit la forme de l'échanture on retrouve logiquement que la sensibilité décroît fortement pour les très faibles débits. Cependant le rectangle est le moins sensible, le triangle le plus sensible, le trapèze et la parabole se classant entre les deux. Le classement est inversé pour les débits plus importants mais pour des sensibilités très proches.

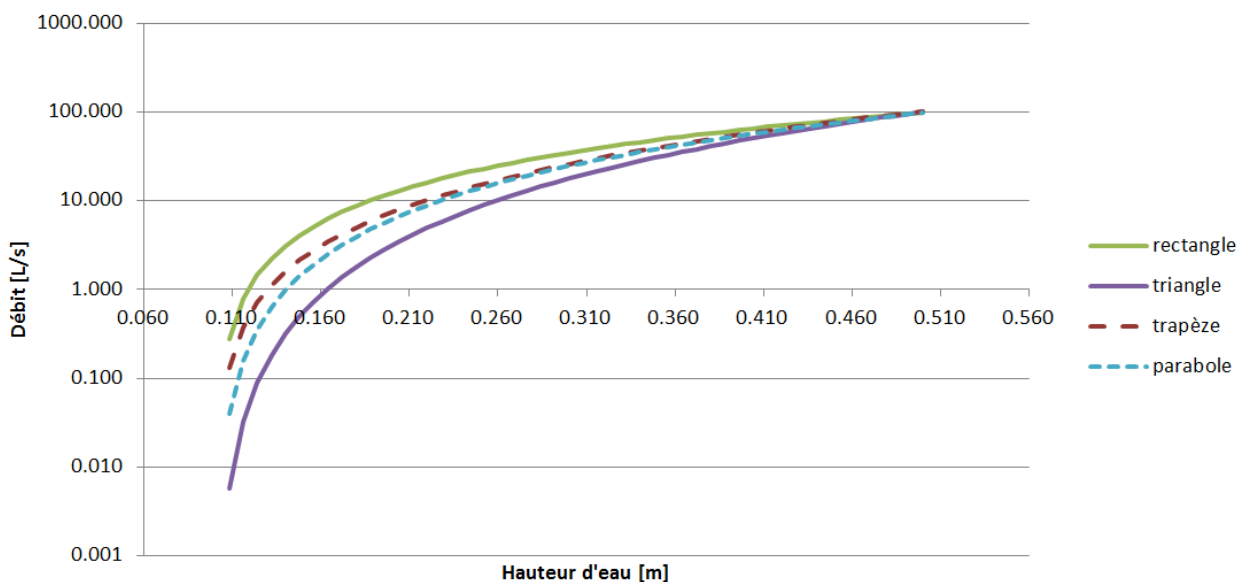


Figure 6 : Courbes de tarage théoriques des quatre échantures rectangulaire, triangulaire, trapézoïdale et parabolique de l'exemple (cf. Figure 1). Les débits sont affichés en échelle logarithmique pour mieux voir les écarts relatifs pour les bas débits.

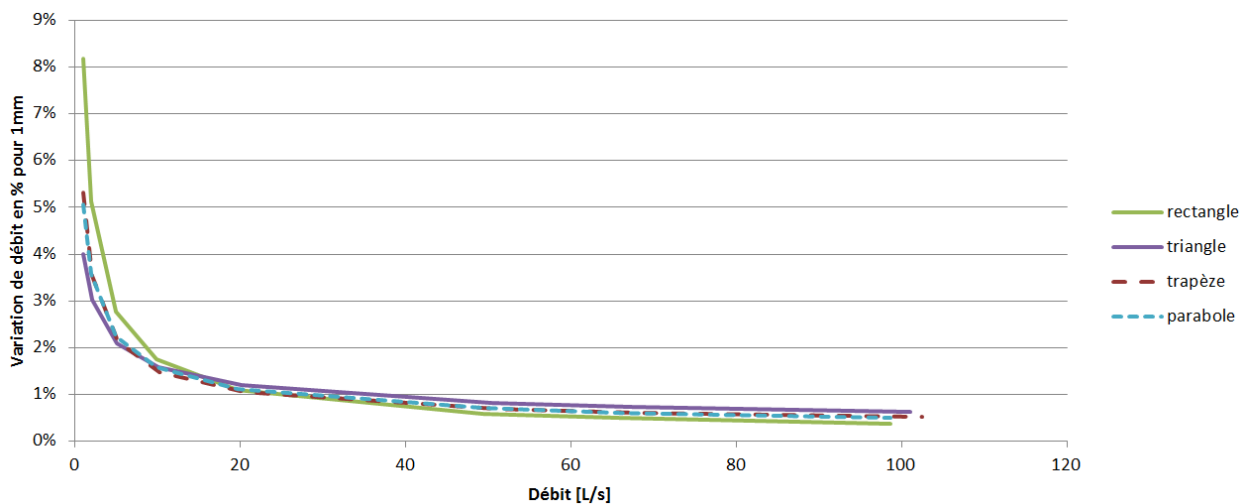


Figure 7 : Sensibilité des trois échantures rectangulaire, triangulaire, parabolique de l'exemple (cf. figure 1)

## 5. Feuille de calcul

Une feuille de calcul pour tableur (Excel, LibreOffice) est disponible comme outil de dimensionnement. Elle reprend les équations 1 à 4 proposées dans cette note et permet notamment de créer les Figures 1, 6 et 7.

## 6. Références bibliographiques

ISO 1438 (2008), Hydrométrie - Mesure de débit dans les canaux découverts au moyen de déversoirs à paroi mince, ISO, 66 p (similaire à la norme NF X10-311, 1983).

NF X10-315 (1990), Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs - Déversoirs rectangulaires à seuils épais, 12 p (similaire à la norme ISO 3846, 1989).

Aide du logiciel BaRatinAGE v2.1 (2016). [https://forge.irstea.fr/projects/baratinage\\_v2](https://forge.irstea.fr/projects/baratinage_v2)

Horner, I., Le Coz, J., Renard, B., Branger, F. (2017) – Impact de la sensibilité des contrôles hydrauliques sur les incertitudes hydrométriques, Conférence SHF Hydrométrie2017, Lyon-Villeurbanne, France.

Igathinathane, C., Srikanth, I., Prakash, K., Ramesh, B., Womac, A.R. (2007) Development of Parabolic Weirs for Simplified Discharge Measurement, Biosystems Engineering, 96 (1), 111–119.

Le Coz, J., Camenen, B., Dramais, G., Ferry, M., Rosique, J.L., Ribot-Bruno, J. (2011) Contrôle des débits réglementaires. Application de l'article L. 214-18 du Code de l'environnement, Eds. Onema/Irstea, 128 p.

Laborie V., Ladreyt S. (2005), Notice sur les déversoirs - Synthèse des lois d'écoulement au droit des seuils et déversoirs, Centre d'études techniques maritimes et fluviales, 87 p.

Lencastre, A. (1986), Manuel d'hydraulique générale, Collection de la direction des études et recherches d'Électricité de France, Éditions Eyrolles, 411 p.

Marchand, P., Pirolley, A., Salles, C., Hernandez, F., Rodier, C., Tournoud, M.-G. (2017) – Remodelage d'un seuil de station hydrométrique et continuité hydrologique. Compromis entre sensibilité hydrométrique et franchissabilité, Conférence SHF Hydrométrie2017, Lyon-Villeurbanne, France.

Tisserand, A., Poligot-Pitsch, S., Héry, B., Arago, M.-A. (2017) – Hydrométrie et Continuité écologique : méthodes et perspectives en Pays de la Loire, Conférence SHF Hydrométrie2017, Lyon-Villeurbanne, France.