



# PROTEGE

PROJET RÉGIONAL OCÉANNIEN DES TERRITOIRES  
POUR LA GESTION DURABLE DES ÉCOSYSTÈMES



© DAVAR

## GUIDE STATION LIMNIMÉTRIQUE

### Fiche n°1 : Choix du site

PROTEGE

Décembre 2021

Ce rapport est cité comme suit :

Guide station limnimétrique, fiche n°1 : Choix du site d'une station limnimétrique, 2022

Guide technique pour le renforcement des capacités des PTOM, Nouvelle-Calédonie,  
p.23

Rédacteur : Magali Lambert

Contributeurs : Nordan Bernast, Marc-Antoine Domet

Vérificateur : Geoffroy Wotling

Numéro de version V6, 25/03/2022

*Cette publication a été produite avec le soutien financier de l'Union européenne. Son contenu relève de la seule responsabilité de <nom de l'auteur/du partenaire> et ne reflète pas nécessairement les opinions de l'Union européenne.*

## Table des matières

FICHE 1 : Choix du site d'une station limnimétrique	4
1. Rappel théorique	4
1) Définitions	4
2) Courbe d'étalonnage (ou courbe de tarage)	5
3) Hydromorphologie (seuils et mouilles)	7
4) Hydraulique	8
a) notions d'écoulement	8
b) Seuil de contrôle et stabilité de la station	11
c) Section de mesure et sensibilité de la station	15
2. Objectifs de la station	17
3. Conditions hydrauliques pour le choix du site	18
4. Faisabilité technique de l'implantation de la station	21
5. Condition d'accès au site	22
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	23



# FICHE 1 : Choix du site d'une station limnimétrique

---

## 1. Rappel théorique

### 1) Définitions

#### **A quoi sert une station limnimétrique ?**

Une station hydrométrique est un emplacement sur lequel est mesuré en continu la hauteur d'eau (et éventuellement une ou plusieurs vitesses d'écoulement) pour calculer un débit sur un tronçon de rivière. D'autres mesures complémentaires peuvent être réalisées sur le site, pluviométrie, climatologie (1).

Le débit mesure l'importance de l'écoulement à un instant donné : c'est le volume d'eau qui s'écoule à travers la section mouillée en une seconde. On désigne le débit par la lettre Q ; ses unités sont le m<sup>3</sup>/s et le L/s.

Une station hydrométrique (cf figure 1) généralement est constituée d'un site avec, **une échelle limnimétrique (mesure la hauteur d'eau), une ou plusieurs sections de contrôle, un site de jaugeage à proximité, une sonde et un appareil enregistreur (limnimètre) ou transmetteur, une armoire** voire éventuellement d'un local technique.

**Une station hydrométrique à relation hauteur-débit, est appelée usuellement station limnimétrique** : emplacement sur lequel la hauteur d'eau est mesurée (en continu ou de façon ponctuelle). Elle possède toujours une échelle limnimétrique: c'est le seul élément permanent **strictement indispensable\***. Les mesures de sondes, les jaugeages et les étalonnages (relations hauteurs-débits = courbe de tarage) sont calés sur cette échelle de référence. Cette échelle doit être stable et fixe dans le temps, si elle est détruite, elle devra pouvoir être réinstallée à l'identique. Aussi, elle doit être nivelée à la précision centimétrique sur un repère immuable, si possible rattaché dans le système géodésique du lieu.

\*une station peut être constituée seulement d'une échelle avec une relation d'étalonnage (courbe de tarage).

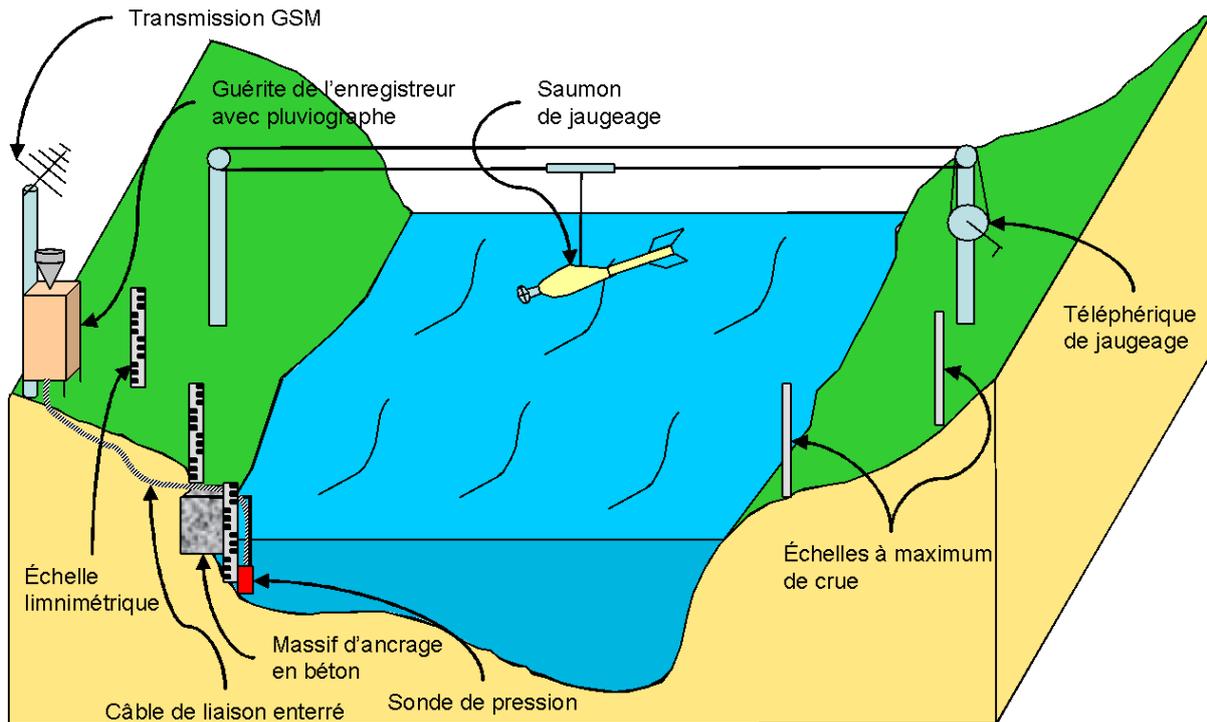


Figure 1 Principe d'une station hydrométrique, source DAVAR

### **Quel est l'intérêt de mettre en place un réseau de stations limnimétriques ?**

Un ensemble de stations limnimétriques permet de cerner l'ensemble d'un bassin versant pour connaître la répartition des pluies et des débits sur celui-ci. Il est possible à partir de loi statistique de transposer ces débits à l'échelle d'autres bassins versants qui ne sont pas instrumentalisés. Il est alors possible de réaliser des modélisations de zones inondables, des prévisions de crues, des bilans d'étiage et de crues qui serviront d'outils d'aide à la décision afin de mettre en place des plans d'actions pour mieux gérer la ressource en eau entre les différents acteurs ; l'objectif étant de fixer un cadre hydrologique à échelle régionale.

### **2) Courbe d'étalonnage (ou courbe de tarage)**

Le débit est estimé en appliquant une courbe d'étalonnage  $Q=f(C)$ .

La courbe représentative du débit  $Q$  en fonction du temps s'appelle un **hydrogramme** (cf. figure2).

La courbe représentative de la cote limnimétrique ( $C$ ) ie. la hauteur d'eau en fonction du temps s'appelle un **limnigramme** (cf. figure2).

La relation de ces deux courbes, soit la courbe représentative entre la hauteur d'eau et le débit s'appelle **une courbe d'étalonnage ou courbe de tarage** (cf. figure2).

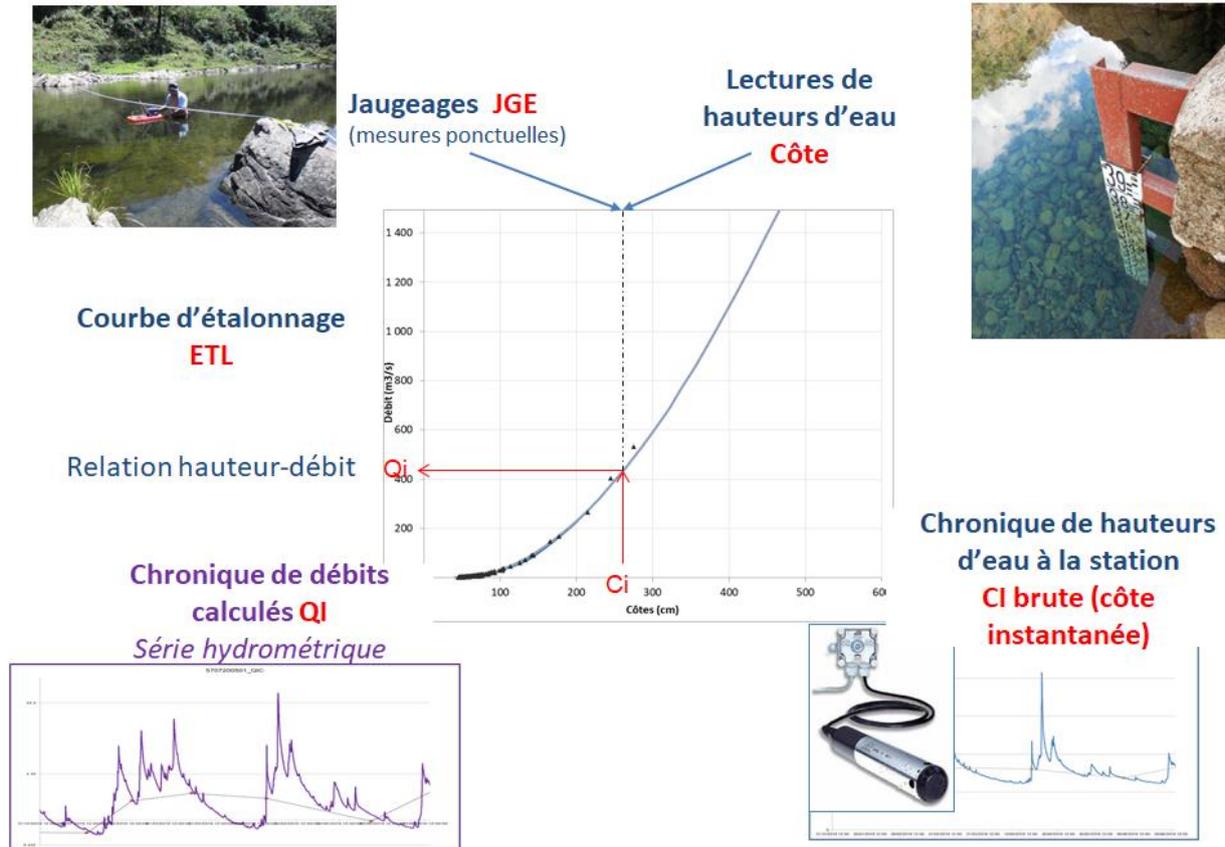


Figure 2 Création de la courbe de tarage (courbe d'étalonnage), source DAVAR

Pour obtenir la meilleure définition de cette courbe d'étalonnage, il est nécessaire de réaliser des mesures de différents niveaux du plan d'eau et des débits (jaugeages) depuis l'étiage jusqu'aux plus fortes crues (basses eaux, moyennes eaux, hautes eaux).

**L'idéal pour une station limnimétrique est de pouvoir suivre les débits, le plus précisément possible, à l'aide d'une relation hauteur débit parfaitement constante dans le temps : on dit que cette relation est univoque.**

Il est important de rappeler que des opérations de jaugeages (mesurage des débits) sont indispensables pour **établir cette relation hauteur-débit  $Q=f(C)$  (courbe d'étalonnage) au droit de l'échelle (la section de mesure).**

La stabilité de cette relation hauteur débit est conditionnée par la stabilité de la section mesure et de la section contrôle c'est -à -dire le seuil aval qui définit le plan d'eau de l'échelle limnimétrique.

Sauf pour les ouvrages hydrauliques artificiels ou les seuils rocheux, les phénomènes d'érosion et transport solide modifient généralement les sections de contrôle et/ou de mesure, et ceux d'autant plus que les crues sont importantes, occasionnant des modifications dans la relation hauteur-débits, on parle alors de **détarage**.

Les détarages peuvent être détectés ou suspectés par examen de l'hydrogramme (sauts, niveaux d'étiage), par analyse morphologique des sections occurrence de crues morphogènes, constat du transport solide, modification du fond du lit) ou par connaissance des changements de conditions d'écoulement (travaux, dragages, curages, dynamique de la végétation). La réalisation de jaugeages est nécessaire pour établir le nouvel étalonnage ou vérifier la stabilité de celui existant. Un détarage induit un changement dans la relation hauteur / débit dans le temps.

**!** Les détarages surviennent lors d'érosion ou transport sédimentaire important lors des crues, lors de la construction de barrages estivaux en étiage pour la baignade, lors de la période de pousse de la végétation aquatique, lors des travaux en cours d'eau (curage)...

Ces processus entraînent une modification de la vitesse de la section sur le seuil de contrôle : la relation entre la hauteur d'eau et le débit n'est plus vérifiée. Il est nécessaire de surveiller le détarage en toutes configurations hydrauliques basses eaux (surtout à l'étiage) / moyennes eaux / hautes eaux.

Une courbe d'étalonnage (tarage) est donc généralement valide d'une date à une autre date, d'où la nécessité de faire régulièrement des jaugeages et relevés d'échelles pour suivre au mieux les évolutions de la courbe.

### 3) Hydromorphologie (seuils et mouilles)

A l'échelle du bassin, un équilibre dynamique existe entre le flux liquide (l'eau) et le flux solide (sédiments) occasionnant des phénomènes de dépôts ou d'érosion dans une rivière fonctionnelle.

Il en résulte une succession de mouilles (creux) et de seuils (bosses, radier) qui constituent le faciès d'écoulement de la rivière.

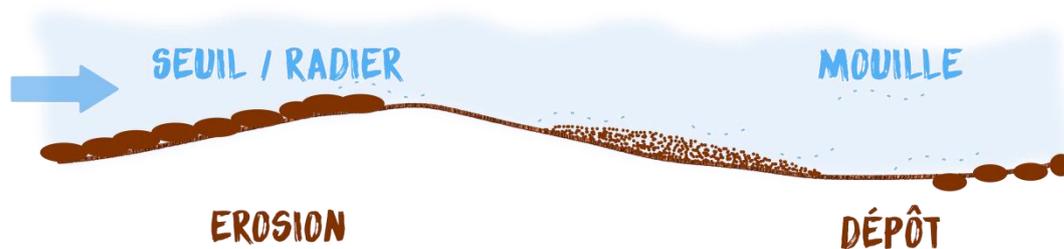


Figure 3 Schéma radier/ mouille, source Syndicat du Bassin Versant de la Reyssouze (4)

**Les seuils** sont constitués par des rétrécissements de la section (goulet) ou un accroissement de la pente de la ligne d'eau (cascade, rapide, chute d'eau). Il marque **le passage en régime critique, c'est-à-dire le passage d'un régime fluvial (écoulement lent et laminaire) au régime torrentiel (écoulement rapide et turbulent) (cf seuil de contrôle).**

## 4) Hydraulique

### a) notions d'écoulement

Un débit se caractérise par le produit de la section mouillée par la vitesse moyenne de l'écoulement :

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = V_{\text{courant}} (\text{m/s}) * S_{\text{section mouillée}} (\text{m}^2)$$

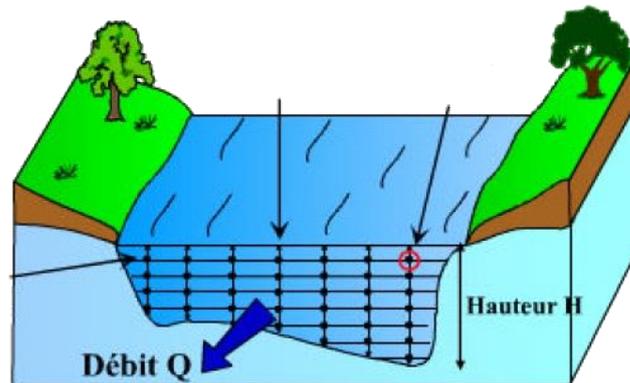


Figure 4 Coupe d'un tronçon de cours d'eau, source Davar

Le **nombre de Froude** correspond au rapport entre la vitesse de l'écoulement et la vitesse des ondes de surface, il sert à déterminer le type d'écoulement :

$$Fr = V / \sqrt{(g \cdot h)}$$

V : vitesse de l'eau [m/s] g : accélération de la pesanteur [ie 9.8 m/s<sup>2</sup>] h : hauteur de l'écoulement [m]

Fr > 1 torrentiel

Fr < 1 fluvial

Fr = 1 régime critique

A débit constant, en **régime fluvial (Fr < 1)**, l'écoulement est lent (grande profondeur, vitesse faible) et **influencé par l'aval**.

En **régime torrentiel (Fr > 1)**, la gravité domine, l'écoulement est rapide et **uniquement influencé par l'amont**.

- En **régime critique (Fr = 1)**, l'écoulement est uniquement déterminé **par la hauteur d'eau** ( $v = \sqrt{gh}$ ), il n'est influencé ni par l'amont, ni par l'aval, c'est également l'écoulement idéal celui qui présente la charge spécifique la plus faible pour cette hauteur d'eau.

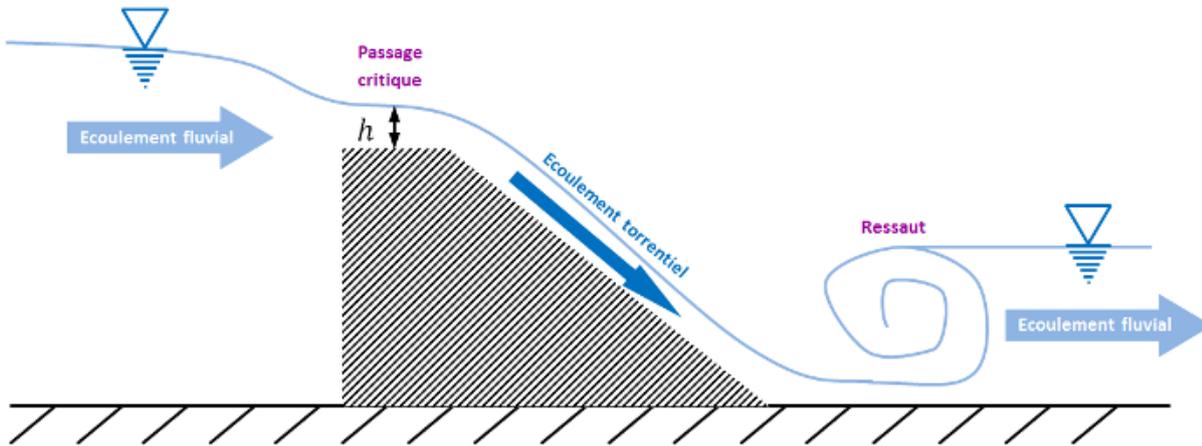


Figure 5 Représentation du régime fluvial, critique, torrentiel (11)

- Pour un écoulement uniforme (pente et section constante), la vitesse est déterminée par la formule de Manning Strickler :

$$V = K_s R_h^{2/3} i^{1/2}$$

V : vitesse moyenne de la section transversale en m/s

$R_h$  : rayon hydraulique de la section mouillée,  $R = S/P$  où S : surface mouillée [m<sup>2</sup>], P est le périmètre mouillé [m], R dépend de la hauteur d'eau

$K_s$  : coefficient de Strickler qui traduit la rugosité du chenal d'écoulement ( $15 < K < 80$ ) [m<sup>1/3</sup>/s]

i : pente du chenal d'écoulement exprimée en rapport de la hauteur perdue par le cours d'eau en fonction de la distance parcourue par celui-ci. Par exemple : 0,001 correspond à une pente de 1 millimètre perdu par mètre [sans dimension].

Remarque : Le coefficient de Strickler  $K_s = 1 / n$  est l'inverse du coefficient de Manning n.

L'écoulement uniforme dépend de la géométrie du cours d'eau. La ligne d'eau et le fond du canal sont parallèles. Il est très rare dans la nature sauf en très hautes eaux et existe dans les canaux d'irrigation artificiels.



Figure 6 Canal uniforme, source Université Louvain (6)

La **pente hydraulique** ou pente de l'écoulement est ainsi généralement le facteur déterminant pour le régime d'écoulement :

- Forte pente = régime torrentiel
- Pente modérée = régime fluvial

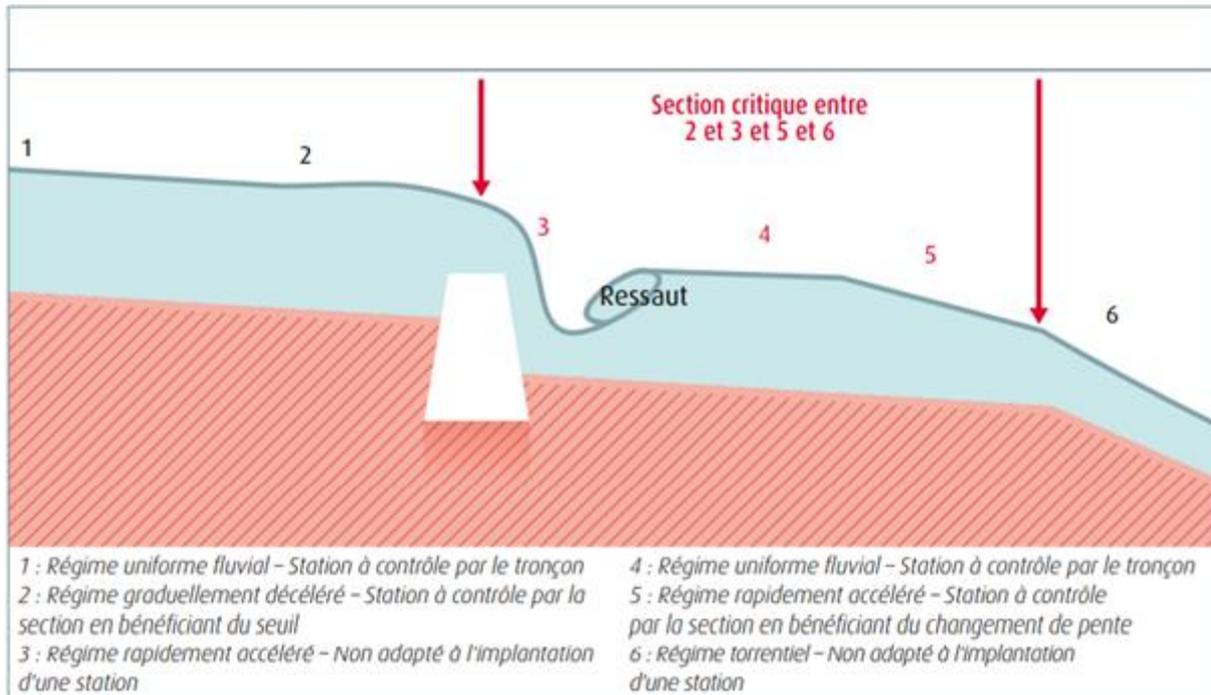


Figure 7 Les différents régimes d'écoulement d'après Degoutte, 2006 (1)

A débit constant, la **contraction de la section d'écoulement** produit également une accélération des vitesses, pouvant générer le passage en régime critique et constituer ainsi un **seuil de contrôle**.

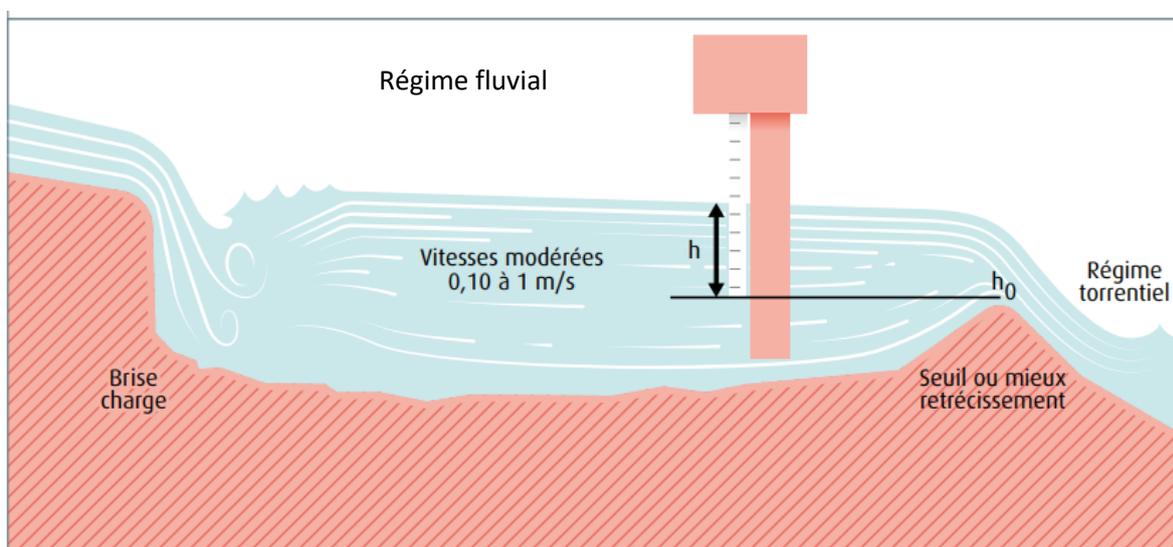


Figure 8 Section de contrôle d'après Audinet, 1995 (1)

Pour des questions de stabilité et facilité de mesure des hauteurs d'eau, les stations limnimétriques sont **installées sur les tronçons de cours d'eau en régime fluvial** c'est-à-dire dans la zone de mouille préférentiellement, là où les vitesses d'écoulement sont modérées.

Puisqu'il s'agit d'écoulement fluvial, l'écoulement à la section de mesure (la relation hauteur-débit) est influencé par le seuil de contrôle (passage régime critique) situé immédiatement à l'aval de la mouille.

**Il est généralement recherché la section la plus sensible (étroite) à proximité amont d'une section de contrôle la plus stable.**

### *b) Seuil de contrôle et stabilité de la station*

Pour implanter des stations hydrométriques on recherche des sites où la relation hauteur-débit est réputée constante du fait de la présence d'un contrôle hydraulique stable à l'aval.

**La section de contrôle** (surface du cours d'eau sur son plan de coupe) peut être formée par une singularité naturelle du profil d'écoulement : **rupture brutale de la pente de la ligne de fond, rétrécissement ou seuil naturel ou artificiel\*** (ouvrages d'art, barrage etc.). On parle alors de **section de contrôle**.

*\*En hydraulique, un seuil désigne la courte section du fond du lit d'un cours d'eau qui est fixée, ce qui conduit très souvent à y modifier fortement la hauteur d'eau. Un seuil existe soit pour des raisons géomorphologiques naturelles (présence de faille, déclivité naturelle, zone de roches plus dures, goulot provoquant une accumulation naturelle d'embâcles, etc.), soit à la suite d'une construction humaine (petit barrage, muret, gué artificiel) (13).*

Il existe différents types de sections de contrôle :



Figure 9 Section contracté / effet venturi, source (12)



Figure 10 Seuil déversoir, source (7).



Figure 11 Canal venturi (seuil contracté), source Société Endress Hauser (8)



Figure 12 Seuil avec chute d'eau, source DDT Puy de Dôme 2012 (9)



Figure 13 Seuil hydraulique : passage de fluvial-torrentiel à l'amont et torrentiel-fluvial à l'aval avec formation d'un ressaut hydraulique ; le Rhône à l'amont de Lyon ; crédit photo : Bernard Chocat.

Le principe de fonctionnement d'un canal venturi exploite l'effet venturi qui fait que lorsqu'un fluide s'écoule dans un canal, il subit une dépression à l'endroit où la section d'écoulement se rétrécit. Autrement dit, lorsqu'un fluide traverse un canal et passe par un étranglement, ce fluide va subir une dépression et sa vitesse d'écoulement va augmenter.

Ainsi, dans un canal venturi, le canal d'approche va en premier lieu stabiliser l'écoulement du fluide. Ensuite, l'étranglement va transformer cet écoulement fluvial en un écoulement torrentiel grâce à l'effet venturi. La section d'évasement est indispensable car si l'écoulement est gêné en aval de l'étranglement, il y a un risque de refoulement du fluide. Enfin, la mesure du débit d'eau se fait généralement par une sonde ultrason en amont de l'écoulement. Cette sonde mesure le niveau de

fluide en amont de l'étranglement et une formule permet de convertir ce niveau en débit. Chaque canal venturi est alors livré avec une courbe  $Q(h)$ .

A noter qu'un contrôle par contraction latérale est à privilégier : le risque d'engravement à l'amont étant minime, la pérennité est améliorée (2).

**Les seuils de contrôle doivent être stables.** De préférence de nature rocheuse pour éviter les phénomènes d'érosion et de modification de la géométrie du seuil.

**C'est le seuil aval qui va conditionner la stabilité de la relation hauteur/débit.** Il permet de :

- Identifier l'endroit où implanter la sonde
- stabiliser la hauteur minimum à la station de mesure hydrométrique
- servir de repère visuel pour anticiper les détarages (de la courbe hauteur/débit) liés aux variations de la géomorphologie du seuil



Il est important de prospecter en période de basses eaux pour vérifier si le seuil de contrôle est stable (il ne faut pas que de petites crues puissent facilement modifier la morphologie du seuil et détarer la station).

La stabilité physique à long terme de la ou des sections de contrôle doit être autant que possible recherchée et si nécessaire améliorée artificiellement.

Tant que le seuil est dénoyé (passage en régime critique), toute modification de l'écoulement en aval du seuil sera sans influence sur la cote du plan d'eau à l'amont de la section de contrôle (2). Le seuil reste efficace jusqu'à une certaine hauteur d'eau au-dessus du seuil.

On recherche donc **de préférence un seuil haut, ou une contraction suffisamment importante** occasionnant le passage en régime critique y compris en hautes eaux.

On appliquera la **Loi des seuils** dans la relation hauteur / débit pour le cas du régime critique.

A défaut, il faudra identifier le seuil de contrôle de hautes eaux ou considérer l'hypothèse d'un écoulement uniforme (canal supposé infini de section et pente constante).

On appliquera la **loi de Manning strickler** pour le cas d'un écoulement uniforme.

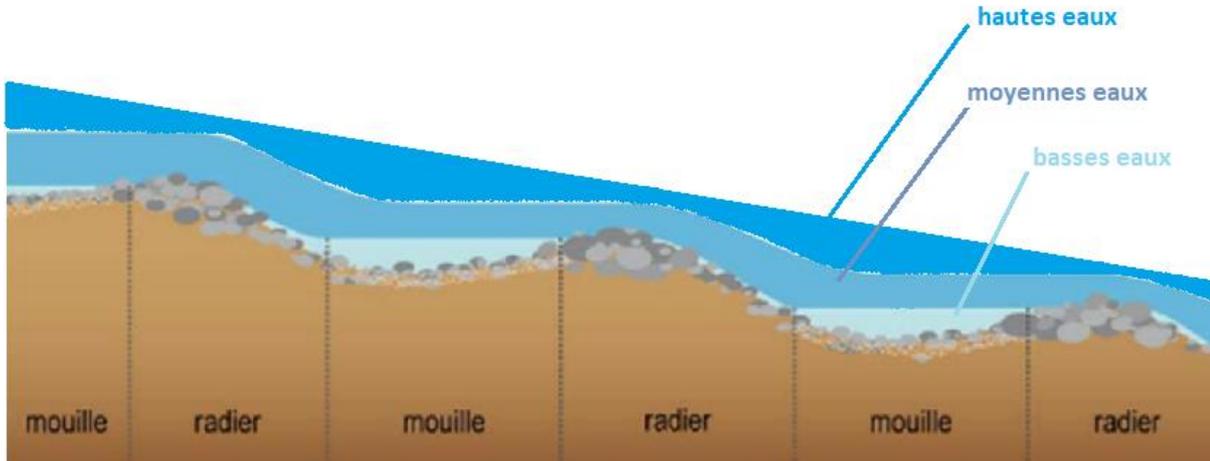


Figure 14 Seuil ennoyé en hautes eaux (écoulement uniforme) et dénoyé en basses eaux (écoulement critique), source AFB 2018 (5)

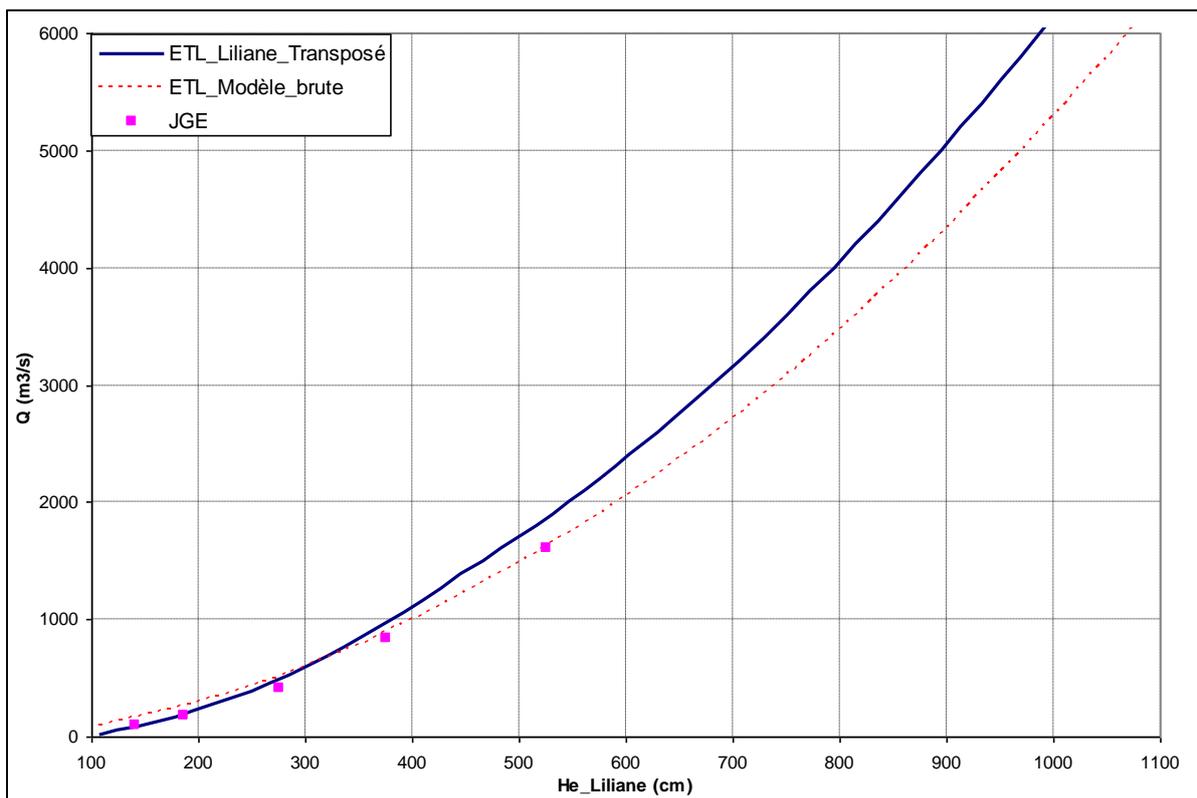


Figure 15 Courbes de tarage hautes eaux pour la station Téléphérique d'après le calage du modèle, source DAVAR

Le type d'écoulement nous permet d'identifier quelle loi intégrer dans le modèle pour caler la courbe de tarage (étalonnage). Le seuil ennoyé ou dénoyé a une importance sur la relation hauteur / débit. Plus il est stable dans le temps (dénoyé), plus la relation  $H/Q$  sera constante dans le temps, fiable et permettra une bonne extrapolation de la courbe.

Si le seuil de contrôle devient instable (affaîssé et/ou déplacé), la hauteur d'eau en amont du seuil diminue. Pour une même section de mesure, il y a un changement de seuil ce qui induit un détamage dans la courbe.

**Les deux qualités d'un bon contrôle sont : la stabilité qui garantit celle de la relation hauteur-débit, et la sensibilité qui assure une variation appréciable de la côte pour une faible variation du débit (3).**

### *c) Section de mesure et sensibilité de la station*

Elle dépend de la variabilité de la hauteur d'eau en fonction du débit; une meilleure sensibilité permet une meilleure précision. La sensibilité d'une station est d'autant meilleure qu'une grande variation de la hauteur lue à l'échelle correspond à une faible variation du débit traversant la section de l'échelle. Elle peut être exprimée par le rapport  $\Delta Q / \Delta H$ .

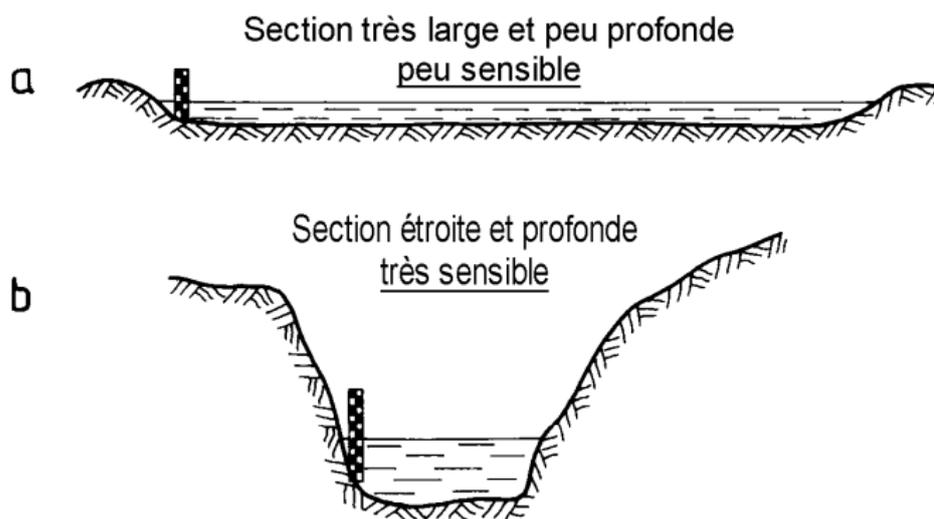


Figure 16 Schéma de la sensibilité d'une station, source IRD OBHI (10)

**La sensibilité de la section de mesures** peut être définie par l'accroissement relatif du débit pour une variation d'un centimètre de hauteur d'eau.

**⚠** Il est conseillé d'implanter les stations d'hydrométrie sur des sites où la sensibilité de la relation hauteur-débit est favorable, c'est à dire où l'accroissement de débit est le plus faible possible pour une élévation de 1 cm de hauteur d'eau Cette recommandation est particulièrement vraie pour les stations dédiées au suivi des étiages.

**⚠** L'évaluation de la sensibilité de la station aux différentes gammes de débits est importante, en particulier pour les débits extrêmes. Une sensibilité comprise entre 5 et 10 % par cm en étiage extrême peut être considérée comme bonne. Pour les hautes eaux, éviter les lits majeurs très larges, peu sensibles et très influencés par la végétation.

La sensibilité d'une station est d'autant meilleure que la section de mesure est étroite. Pour une mesure de qualité, il faut rechercher une zone de vitesse moyenne faible, c'est-à-dire suffisamment à l'amont de la section de contrôle aval (2).

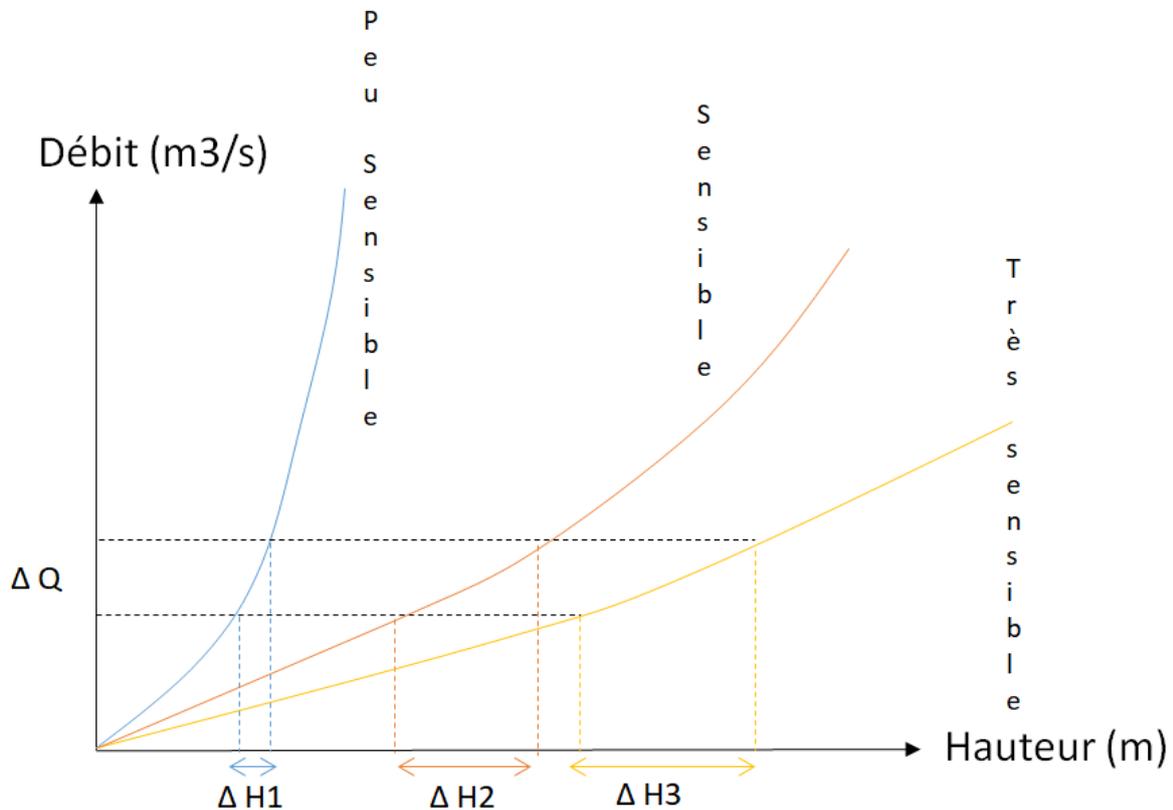


Figure 17 Courbe de tarage (étalonnage) d'une station sensible et peu sensible, source Davar

Pour une même variation de débit, plus la variation de la hauteur d'eau au niveau de la station est importante plus la station est sensible.

Dans le cas d'une station peu sensible, une faible variation du niveau d'eau de la rivière induit une forte variation du débit de la rivière et le débit sera peu précis.

Il reste préférable de privilégier une station ayant une faible variation de débit pour une forte variation de hauteur d'eau :  $\Delta H1 < \Delta H2 < \Delta H3$ .

Dans le cas d'une station trop sensible, il est techniquement difficile sur le terrain de mesurer de très grande hauteur d'eau.

**En général, il vaut mieux prioriser la stabilité de la section de contrôle que la sensibilité de la section de mesure.**

Le choix du site résulte toujours d'un compromis pour répondre à l'**objectif de la station tout en trouvant une section qui présente les conditions hydrauliques de l'écoulement compatibles à la mesure et à la faisabilité technique de l'instrumentation** (conditions d'accès au site, la facilité d'intervention en toutes circonstances pour la maintenance et les jaugeages).

## 2. Objectifs de la station

La collecte de données hydrologiques répond à des besoins aussi cruciaux que variés.

Objectifs des suivis hydrologiques (3) :

objectif	caractéristiques
Connaissance générale de l'hydrologie : station de référence + acquisition de nouvelles données + calibration des données	- Doit permettre d'acquérir des données hydrométriques sur les périodes de basses, moyennes et hautes eaux sur des bassins de références définis sur des critères géographiques spécifiques (climatologie, géologie, occupation des sols,...)
Suivi et gestion des prélèvements (développement irrigation, AEP, hydroélectricité) et/ou des rejets (industriel, urbain, miniers, ...)	- Suivi en amont et/ou en aval des prélèvements ou des rejets - Contrôle des débits réservés ou débits minimums biologiques à proximité des installations
Gestion des sécheresses et étiages	- Suivi des basses eaux uniquement pour des bassins stratégiques - Des suivis à des pas de temps journalier jusqu'à décadaire peuvent suffire
Gestion des crues et du risque inondation	- Suivi des hautes eaux uniquement pour des bassins stratégiques - Des suivis à des pas de temps fins (quelques minutes) sont nécessaires - Capacité à mener des jaugeages en crues (installation téléphérique, ouvrage de franchissement etc..) - Définition des aléas Q10, Q100 voire au-delà pour caractériser les aléas et alimenter les modèles hydrauliques de zones inondables. - Relation pluies/débit pour la prévision des crues
conception et gestion des ouvrages : hydroélectricité, dimensionnement des réseaux pluvial, AEP, hydraulique...	- Placer la station le plus proche possible de la future prise d'eau dans le secteur amont de la chute d'eau exploitée
Ecologie, Loisirs, Navigation : prévision des niveaux d'eau, maintien de la biodiversité...	- Contrôle des débits associés aux suivis écologiques, à la pratique d'activités de loisir ou de navigation.

En fonction de l'objectif, il s'agira généralement de trouver une section de mesure dans un tronçon donné, pour jauger un bassin versant prédéfini. La recherche de site peut nécessiter un travail de reconnaissance important (pouvant porter sur plusieurs kilomètres de rivière) (1).

### 3. Conditions hydrauliques pour le choix du site

L'hydromètre doit déterminer un linéaire de rivière sur lequel il va rechercher les emplacements de mesure les plus stables et sensibles répondant aux différents objectifs visés. Il s'agit généralement d'un compromis car le site parfait existe rarement dans la nature.

Notons que le choix d'une station est très important et il se fait selon les trois critères ci-après :

- La section transversale doit être stable (pas ou peu d'érosion ou de sédimentation).
- La section transversale doit être sensible (suffisamment étroite).
- Le tronçon du cours d'eau doit être relativement droit (rectiligne) et uniforme (section régulière) ;

La priorité d'une station est sa stabilité. Le nombre de jaugeage nécessaire augmente si la station n'est pas stable.

Un bon site hydrométrique doit répondre aux critères suivants :

CRITERES	
Stabilité de la section de mesure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Écoulement régulier, uniforme, en régime fluvial Pour la mesure de hauteur, il est important de choisir une section avec une vitesse faible où la hauteur d'eau est stable. Ces conditions se rencontrent souvent à l'amont d'un seuil ou d'un ouvrage qui permet un changement de régime hydraulique (section de contrôle).</li> <li>- Possibilité de jauger toujours au même endroit ; on peut éventuellement distinguer un site basses eaux et un site hautes eaux.</li> <li>- Éviter impérativement les mesures dans les zones de remous ou de batillage..</li> </ul> <div style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p> L'emplacement de la section ne doit pas être sous l'influence d'obstacles situés à l'amont ou à l'aval immédiat (branches d'arbres, rochers, troncs immergés, herbes...) qui pourraient gêner la mesure ou la perturber.</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eviter les zones mortes</li> <li>- Une bathymétrie stable dans le temps et de profondeur homogène permet d'espérer une courbe de tarage stable. Eviter la présence de gros blocs perturbant l'écoulement, préférer lit limoneux, un fond relativement lisse pour effectuer des jaugeages précis.</li> </ul>
Stabilité de la section de contrôle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier le seuil de contrôle aval et vérifier sa stabilité</li> <li>- Eviter les matériaux alluvionnaires fins et trop mobiles</li> <li>- Privilégier les seuils réguliers, en dur et haut (dénoyé à tout régime, rapide de plusieurs mètres de dénivelé, cascade, barrage)</li> </ul>

Sédimentation et érosion de la section	<ul style="list-style-type: none"> <li>- éviter les zones de sédimentation</li> <li>- éviter les zones de courants trop forts propices à l'érosion             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Préférer une section creusée dans un matériau résistant (peu sensible à l'érosion)</li> </ul> </li> </ul>
Tronçon rectiligne homogène	<ul style="list-style-type: none"> <li>- section rectiligne et homogène (pas de coudes ou d'irrégularités) : la répartition de la vitesse du cours d'eau doit être homogène et constante. Plus cette section est longue, plus il y a de probabilités d'avoir des changements du cours d'eau sur cette section, plus il y a un risque de détarage.</li> <li>- ligne de courant parallèle et perpendiculaire à la section <b>Tout le débit à mesurer doit passer au droit de la section</b> (absence de bras multiples). A défaut, il faut pouvoir le comptabiliser en cas de contournement (ouvrages de décharge, débordement sur remblai...)</li> </ul>
Sensibilité de la station	Une section étroite et profonde est très sensible ( <b>=mesure plus précise</b> ) contrairement à une section large, peu profonde. On dit qu'une échelle est sensible si une variation importante du plan d'eau correspond à une faible variation du débit par unité de largeur: par exemple dans le cas d'une station située à l'amont d'un étranglement du lit de la rivière.
Jaugeage	Evaluer la faisabilité des jaugeages en étiage et en crue Il n'est pas nécessaire de faire le jaugeage à l'emplacement exact de l'échelle limnimétrique car, en général, en l'absence d'affluents, le débit reste le même le long du cours d'eau au voisinage de l'échelle (3)
Pente hydraulique	Doit être une pente modérée à faible, favorisant le régime fluvial
Fréquentation du lieu	Evaluer la fréquentation : éviter les barrages estivaux ou modification de la section du cours d'eau, risque de vandalisme
Télétransmission	Vérifier que le réseau passe si besoin de la télétransmission. La télétransmission permet de ne pas se déplacer trop souvent sur la station pour récupérer la donnée de la sonde. Le jaugeage ponctuel mensuel est indispensable pour caler la courbe de tarage (étalonnage).
Section encaissée	Se positionner sur la rive où il y a le plus d'eau en basses eaux

Ci-dessous les critères spécifiques pour les stations d'étiage et de crue :

	<b>CRITERES</b>
<b>Basses eaux / étiage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prendre en compte la stabilité de la station : la nature du lit doit être stable, le fond du lit de la rivière doit être régulier.</li> </ul> <p><b>Pourquoi ?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Pour éviter les incertitudes liées à l'inféroflux (l'eau passe sous les cailloux)</p>



	<ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Pour éviter les détarages de la station limnimétrique</li></ul> <p>En période d'étiage, la station doit être très souvent réétalonné pour éviter les fausses estimations de débit, plus la section est stable, moins de jaugeages seront nécessaires.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Forte sensibilité de la station (en étiage, la sensibilité de la section est très importante pour suivre un débit précis)</li><li>- La profondeur de l'eau doit être suffisante pour que l'immersion effective des sondes soit effectuée en tout temps.</li></ul> <p> Détarage fréquent</p> <p> La section elle-même ne doit pas présenter de fortes disproportions horizontales et verticales. On recherchera le meilleur compromis entre profondeurs suffisantes et vitesses mesurables y compris à l'étiage afin de limiter les incertitudes.</p>
<b>Hautes eaux /crues</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Le cours d'eau devra avoir un lit préférentiellement encaissé pour éviter les larges débordements en lit majeur ;</li></ul> <p><b>Pourquoi ?</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Pour contenir la crue et permettre le jaugeage,</li><li><input type="checkbox"/> Pour avoir une meilleure sensibilité de la station pour permettre une relation hauteur/débit plus précise</li><li><input type="checkbox"/> Pour permettre de modéliser les écoulements sur des forts débits le plus simplement et correctement possible. Indispensable à une bonne extrapolation de la courbe de tarage.</li><li><input type="checkbox"/> Pour avoir un accès au site en crue, site sécurisé en hauteur, la station doit être surélevée et être placée au-dessus des plus hautes eaux</li></ul> <ul style="list-style-type: none"><li>- Section stable lors de la crue : pas de phénomènes significatifs d'érosion/comblement du lit, pas d'embâcles susceptibles d'avoir modifiés de façon significative la section d'écoulement (1);</li><li>- Section présentant des laisses de crue nombreuses et redondantes (pour fiabiliser l'information sur les niveaux et la forme de la ligne d'eau) et persistance des laisses de crue (qui peuvent être effacées rapidement en secteur urbain notamment)</li></ul> <p> L'implantation de l'armoire ou du local technique doit être compatible avec un fonctionnement pendant les crues : les dispositifs techniques doivent être hors d'eau par rapport à une crue centennale ou plus et, si possible l'accès à la station doit pouvoir se faire en toute <i>sécurité pendant ces périodes</i>. Une analyse morphologique, une enquête sur les laisses de plus hautes eaux connues permettra de placer les appareils hors d'eau.</p>

L'observation des contrôles hydrauliques aux différentes gammes de débit en lien avec les **objectifs de la station** est indispensable :

- Pour l'étiage, la priorité est donnée au contrôle aval par un seuil stable, sans herbe et avec une bonne sensibilité en basses eaux.
- Pour les crues, un chenal unique (canal uniforme) relativement long et étroit qui ne subit pas d'influence aval est recherché (peu fréquent dans la nature).

Le site choisi doit permettre l'observation de tous les niveaux d'eau et le mesurage de tous les débits, qu'ils soient très faibles ou très élevés. Il est parfois nécessaire de mettre en place 2 stations limnimétriques sur un même site, 1 en hautes eaux et 1 en basses eaux.

**Le choix du site sera réalisé en étiage et confirmé par plusieurs reconnaissances sur le terrain pour voir les conditions d'écoulement de la rivière à différents régimes (moyennes eaux et crues).**

**La faisabilité des jaugeages doit également être vérifiée.**

#### 4. Faisabilité technique de l'implantation de la station

CRITERES	
Mise en place de l'échelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- être solidement installée sur un massif rocheux ou béton accessible pour les travaux et lisible depuis la berge</li> <li>- ne pas gêner l'écoulement (éviter les turbulences)</li> <li>- doit toujours être immergée en étiage sévère</li> <li>- doit être placée dans une zone assez calme, protégée des vagues et des remous</li> <li>- doit être installée relativement proche du seuil de contrôle : s'approcher du régime critique tout en restant dans le régime fluvial : zone de mouille</li> </ul> <div style="background-color: #e0e0e0; padding: 5px; margin-top: 10px;">  Dans notre cas, pour les cours d'eau en milieu tropical les "sections de contrôle" ne sont que rarement stables dans le temps, on cherche à placer les échelles stratégiquement en fonction des sections de contrôle, mais pas nécessairement trop près du régime critique. On cherche plutôt le régime fluvial y compris en hautes eaux.         </div>
Section encaissée	Permet de limiter la distance entre l'enregistreur limnimétrique et la sonde de mesure pour que les longueurs de câbles soient plus courtes : moins de maintenance
Implantation de la sonde	Elle sera placée de préférence sur le support d'échelle et en dessous du « 0 » limnimétrique, Eviter autant que possible les zones de remous et batillage ; de préférence abrité par <b>des blocs rocheux</b> plutôt ombragés <div style="background-color: #e0e0e0; padding: 5px; margin-top: 5px;">  le support de sonde doit résister aux crues         </div>

	<p> Un site ensoleillé est souvent favorable à la pousse des végétaux aquatiques. Les zones d’eaux mortes sont propices à l’envasement et requièrent un entretien accru ou même interdisent certaines techniques. Les zones sableuses s’enlisent.</p> <p>Il existe des contraintes techniques propres à chaque sonde, qui conduisent à des choix d’équipement variables selon les sites, ainsi qu’à la mise en œuvre des travaux de génie civil adaptés</p>
Réseaux et télétransmission	La desserte par les réseaux 4G est un atout. Il convient de s’assurer d’une protection suffisante contre les perturbations d’origine électromagnétique. Une étude et des mesures sur site seront recommandées avant l’installation du matériel en cas de station télétransmise.
Coût	Une solution peut être préférée par rapport à une autre en fonction de son coût de revient, c’est un paramètre important à prendre en compte pour les services de l’eau

### 5. Condition d’accès au site

Conditions d’accès au site	l’accès à la station doit être facilitée et sécurisé par tous les temps L’accès en véhicule est recherché en priorité.
Démarches administratives	Ces démarches concernent tous les propriétaires de terrains et voies de circulation impactés par les différents composants de la station (sondes, échelles, bâtiment ou armoire électrique, câbles, alimentation en énergie)

 L’accès avec un véhicule à proximité de la station est généralement recherché pour réaliser les travaux de construction de la station (sinon hélicoptage ou dos d’homme), la maintenance et les opérations de jaugeage. Des escaliers, des échelles ou des rampes doivent sécuriser l’accès au lit mineur. Il est préférable d’investir dès le début dans ces équipements qui permettent de gagner du temps lors des interventions et favorisent la sécurité des agents.

**A RETENIR : il ne faut pas hésiter à consacrer du temps au choix de la section de mesure pour limiter le nombre de jaugeages nécessaires à réaliser sur le long terme et assurer une mesure hydrologique fiable et exploitable.**

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) *Charte de l'hydromètre, ministère de l'environnement l'énergie et de la mer, 2017*  
Audinet M., Hydrométrie appliquée aux cours d'eau. Édition Eyrolles, 1995.  
Degoutte G., aide-mémoire d'hydraulique à surface libre. HydroParisTech, 2006.  
[https://www.researchgate.net/publication/341488349\\_Charte\\_qualite\\_de\\_l'hydrometrie\\_Guide\\_de\\_bonnes\\_pratiques](https://www.researchgate.net/publication/341488349_Charte_qualite_de_l'hydrometrie_Guide_de_bonnes_pratiques)
- (2) *Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement Charte qualité de l'hydrométrie, 1998.*
- (3) *OMM, Guides pratiques hydrologiques, 1994.*  
[https://hydrologie.org/BIB/OMM/WMOFRA\\_v5.pdf](https://hydrologie.org/BIB/OMM/WMOFRA_v5.pdf)
- (4) Syndicat du Bassin Versant de la Reysouze.  
<https://syndicat-reysouze.fr/zonation-longitudinale-2/radier-mouille/>
- (5) AFB, 2018.  
[http://atvbv.fr/sites/default/files/media/2728-09-2018\\_session\\_2\\_afb\\_.pdf](http://atvbv.fr/sites/default/files/media/2728-09-2018_session_2_afb_.pdf)
- (6) Université de Louvain, Belgique.  
[https://sites.uclouvain.be/didacticiel-hydraulique/Lecons/Lecon\\_II\\_1/Lecon\\_II\\_1.html](https://sites.uclouvain.be/didacticiel-hydraulique/Lecons/Lecon_II_1/Lecon_II_1.html)
- (7) L'agence Normandie de la biodiversité et du développement durable.  
<https://www.anbdd.fr/biodiversite/connaissance/les-indicateurs-normands-de-la-biodiversite/fragmentation-des-cours-deau-de-normandie/>
- (8) Société Endress Hauser.  
<https://www.fr.endress.com/fr/instrumentation-terrain-sur-mesure/debit-mesure-produits/mesure-debit-canal-ouvert>
- (9) DDT Puy de dôme, 2012.  
[http://www.puy-de-dome.gouv.fr/IMG/pdf/121015\\_BAT\\_obstacle.pdf](http://www.puy-de-dome.gouv.fr/IMG/pdf/121015_BAT_obstacle.pdf)
- (10) [IRD Unité OBHI, module de formation en débitmétrie.](#)
- (11) <https://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1820>
- (12): la mesure hydrologique,  
<https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre7/chapitre7.html>
- (13) :  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Seuil\\_\(barrage\)#:~:text=En%20hydraulique%2C%20un%20seuil%20d%C3%A9signe,fortement%20la%20hauteur%20d'eau.](https://fr.wikipedia.org/wiki/Seuil_(barrage)#:~:text=En%20hydraulique%2C%20un%20seuil%20d%C3%A9signe,fortement%20la%20hauteur%20d'eau.)