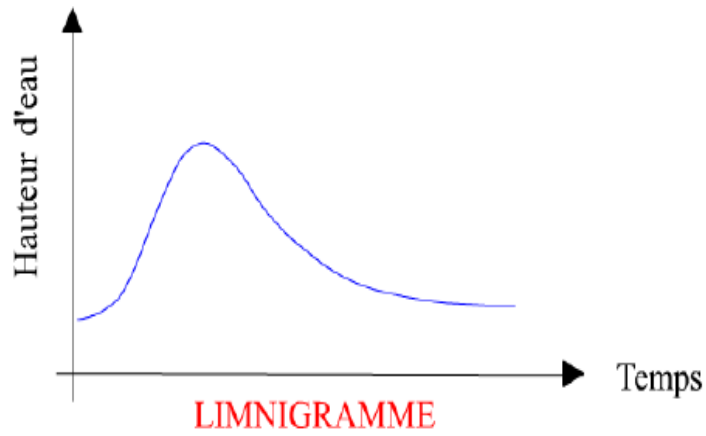


La mesure des débits

On appelle hydrométrie l'ensemble des techniques de mesures des différents paramètres caractérisant les écoulements dans les cours d'eau naturels ou artificiels et dans les conduites. Les deux variables principales qui caractérisent l'écoulement sont :

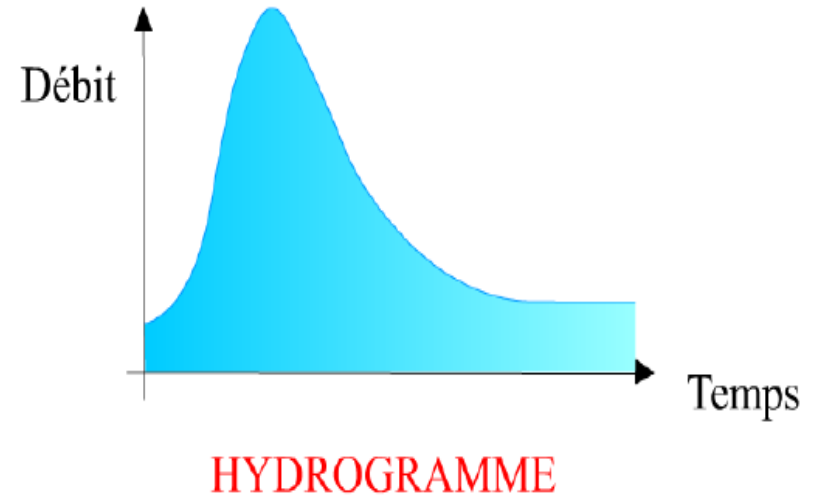
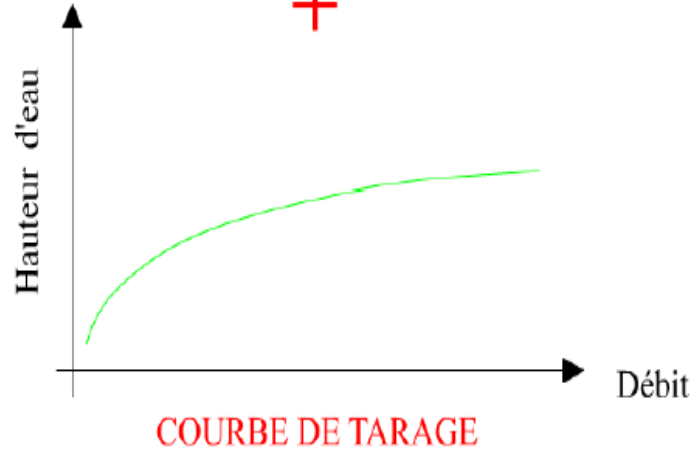
- La cote de la surface d'eau libre, notée H et exprimée en mètre. Sa mesure concerne la **limnimétrie**.
- Le débit du cours d'eau, noté Q et exprimé en m^3/s ou l/s , représentant le volume total d'eau qui s'écoule à travers une section droite du cours d'eau pendant l'unité de temps considérée. Sa mesure est du ressort de la **débitmétrie**.

Seule la variable débit reflète physiquement le comportement du bassin versant, et peut être interprétée dans le temps et l'espace. Généralement, on ne dispose pas d'une mesure directe et continue des débits mais d'un enregistrement des variations de la hauteur d'eau en une section donnée (station hydrométrique). On passe alors de la courbe des hauteurs d'eau en fonction du temps $H=f(t)$ (appelée limnigramme) à celle des débits $Q=f(t)$ (appelée hydrogramme) par l'établissement d'une **courbe de tarage $Q=f(H)$**



+

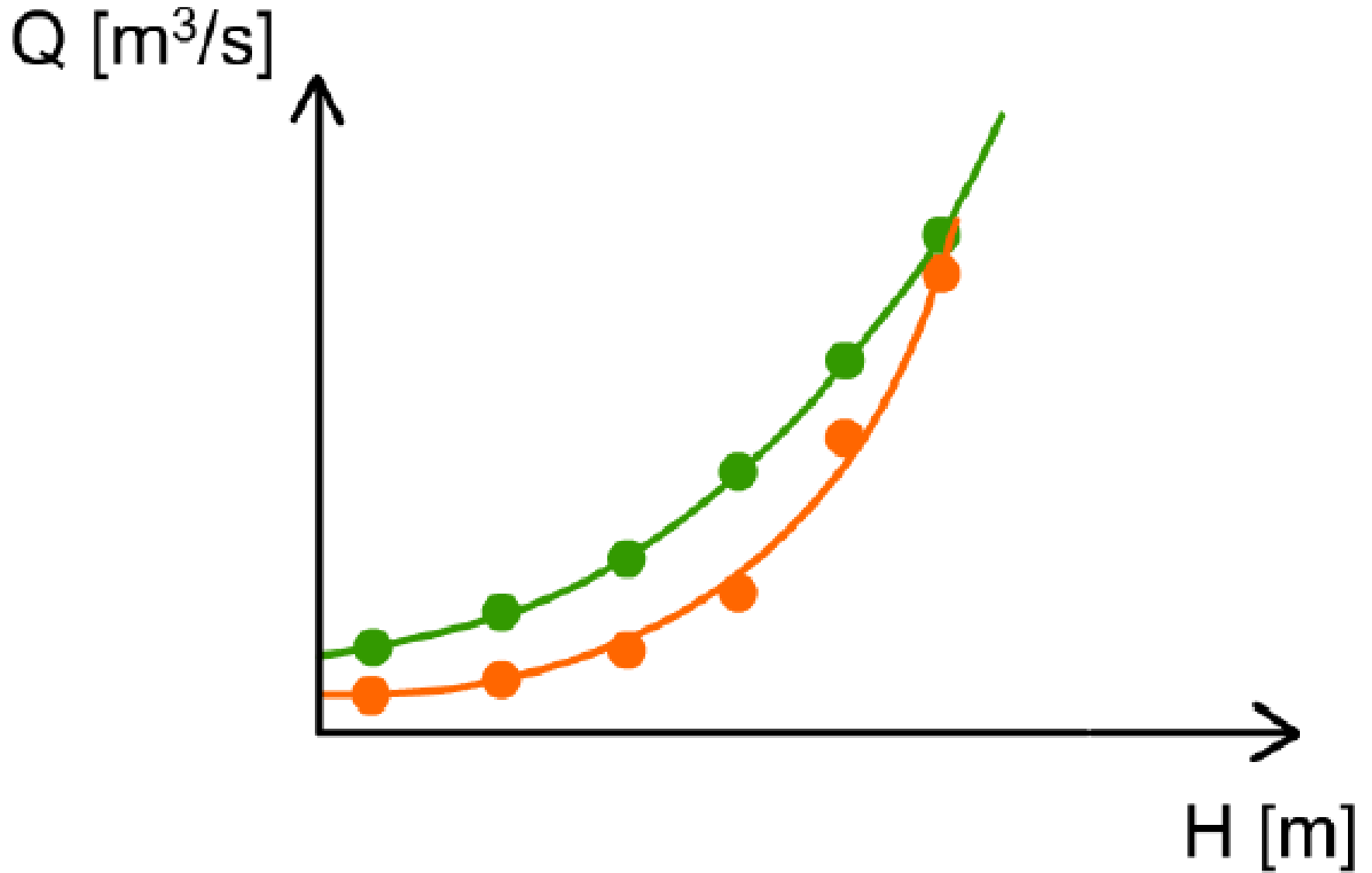
=



Passage d'un limnigramme à un hydrogramme par l'intermédiaire de la courbe de tarage

La détermination de la courbe de tarage est généralement effectuée au moyen de campagnes de mesures de débits épisodiques, dont la fréquence est un élément essentiel de la qualité et de la précision des données ainsi obtenues. Le nombre de points nécessaire à l'établissement d'une courbe de tarage est de 10 minimum, répartis entre les basses et les hautes eaux.

On appelle **jaugeage** l'ensemble des opérations destinées à mesurer le débit d'une rivière.



Courbe de tarage pour différentes sections d'un même cours d'eau.

La mesure des hauteurs d'eau

La mesure des hauteurs d'eau (la limnimétrie) ou de la variation d'un plan d'eau s'effectue généralement de manière discontinue par la lecture d'une règle graduée (**échelle limnimétrique**) fixée sur un support. Pour connaître en continu les variations d'un plan d'eau, on utilise des limnigraphes qui fournissent sur un support un enregistrement continu des variations du niveau d'eau dans la rivière en fonction du temps



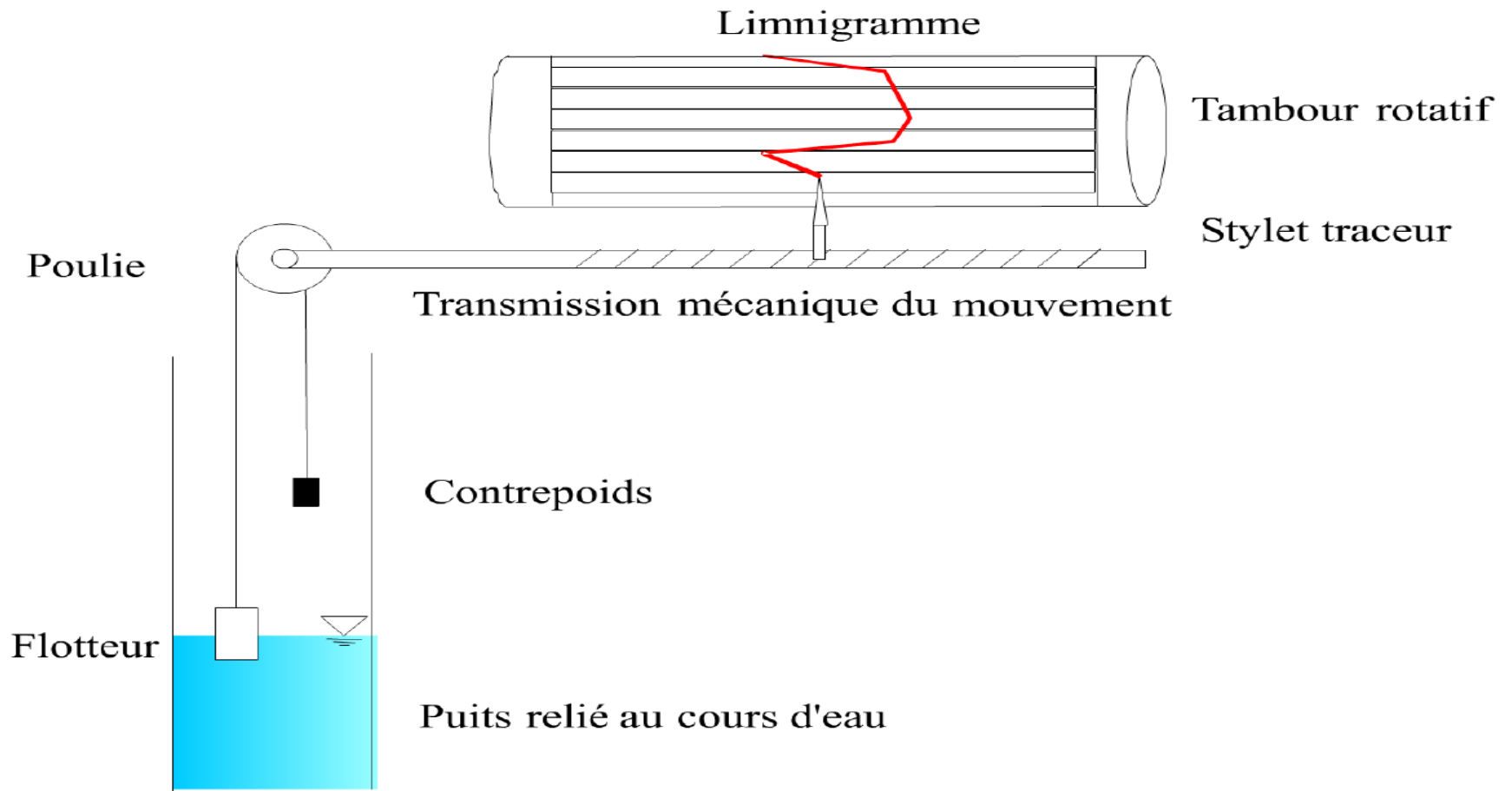
Echelles limnimétriques inclinée et verticale

Le limnigraphe à flotteur:

limnigraphe à flotteur est un appareil qui maintient un flotteur à la surface de l'eau grâce à un contrepoids, par l'intermédiaire d'un câble et d'une poulie. Le flotteur suit les fluctuations du niveau d'eau, qui sont reportées sur un graphe solidaire d'un tambour rotatif (à raison d'un tour par 24h ou par semaine ou par mois). La précision de la mesure est de 5 mm environ.

Autres capteurs pour la mesure des hauteurs d'eau

- * Le limnigraphe "bulle à bulle"***
- * Capteur capacitif et le capteur à ultrasons***



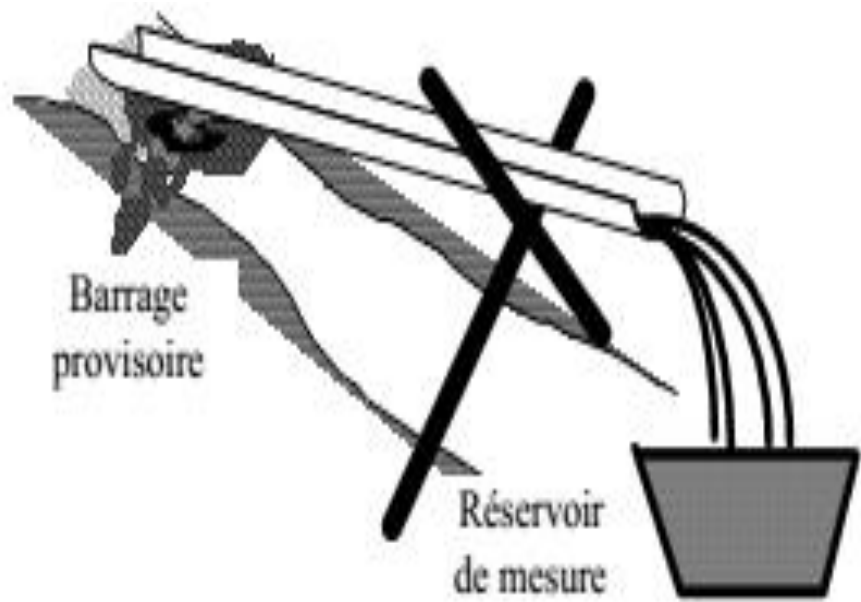
2 - LES METHODES DE JAUGEAGES

Un jaugeage est donc une mesure quasiment instantanée du débit d'un cours d'eau. Les techniques utilisées sont nombreuses et généralement complémentaires ; elles s'appuient sur des principes très différents selon les cas

1 - Réservoirs étalonnés

Cette technique simple consiste à mesurer le temps nécessaire Δt , pour remplir un récipient de volume V . On obtient le débit Q par la relation suivante : $Q = V/\Delta t$.

Cette méthode est surtout utilisée pour jauger des sources ou de très petits cours d'eau (débits de l'ordre de quelques litres par seconde au maximum). Le récipient peut être un seau de 10 litres ou un bac plastique de 100 litres par exemple. La seule condition est de pouvoir faire rentrer l'eau dans le récipient ce qui nécessite, soit une chute naturelle, soit de pouvoir aménager cette chute par une gouttière en plastique par exemple.



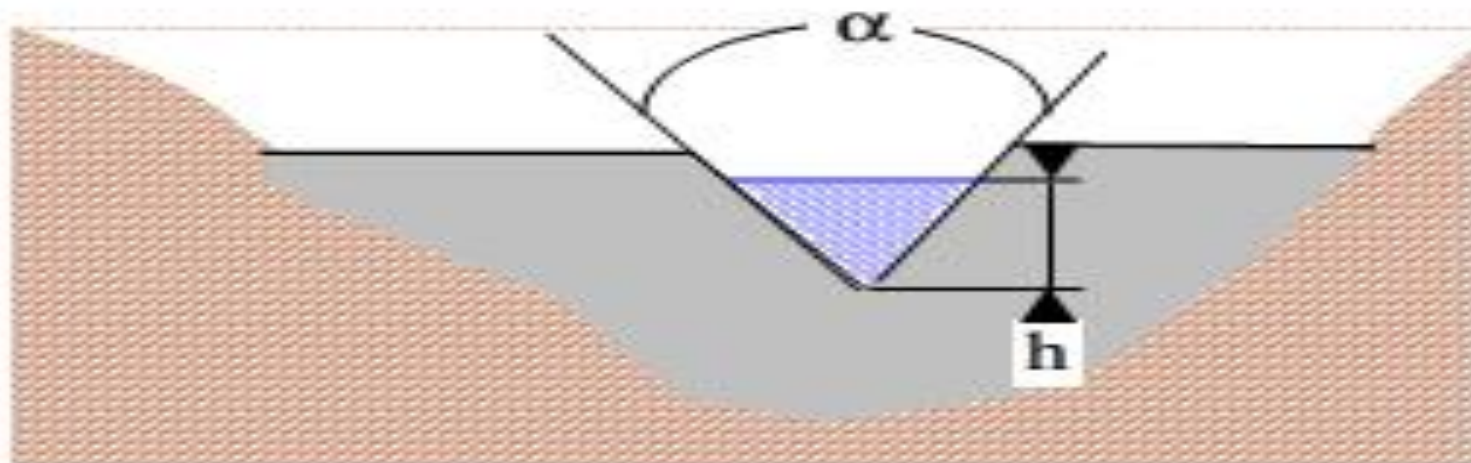
2 – Déversoirs

Le débit d'un cours d'eau peut être mesuré en utilisant des déversoirs sur des orifices normalisés. Ces techniques, adaptées surtout aux petits débits, utilisent les résultats de l'hydraulique classique mais dans des conditions bien souvent éloignées de celles rencontrées en laboratoire. Différents types de déversoirs sont utilisés mais on rencontre principalement des déversoirs triangulaires dont la relation hauteur-débit théorique est

$$Q = a h^b$$

En général on utilise :

$$Q = 1,32 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h^{2,47}$$





Dans la pratique, il est prudent de réaliser quelques jaugeages de contrôle permettant de déterminer les valeurs a et b dans les conditions réelles d'installation. Il en est de même pour les autres types de déversoirs rectangulaires

Dans la quasi-totalité des cas, on utilise des déversoirs fixés à demeure dans le cours d'eau.

Cette technique n'intéresse donc que des stations où l'on est disposé à réaliser un certain investissement.

Jaugeurs à ressaut

Ces appareils ont pour but de provoquer un passage en régime critique où la relation hauteur-débit.

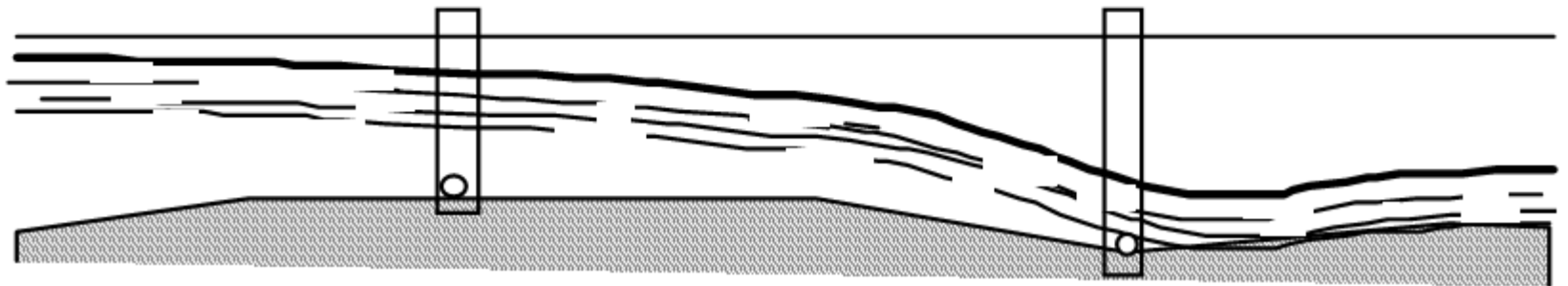
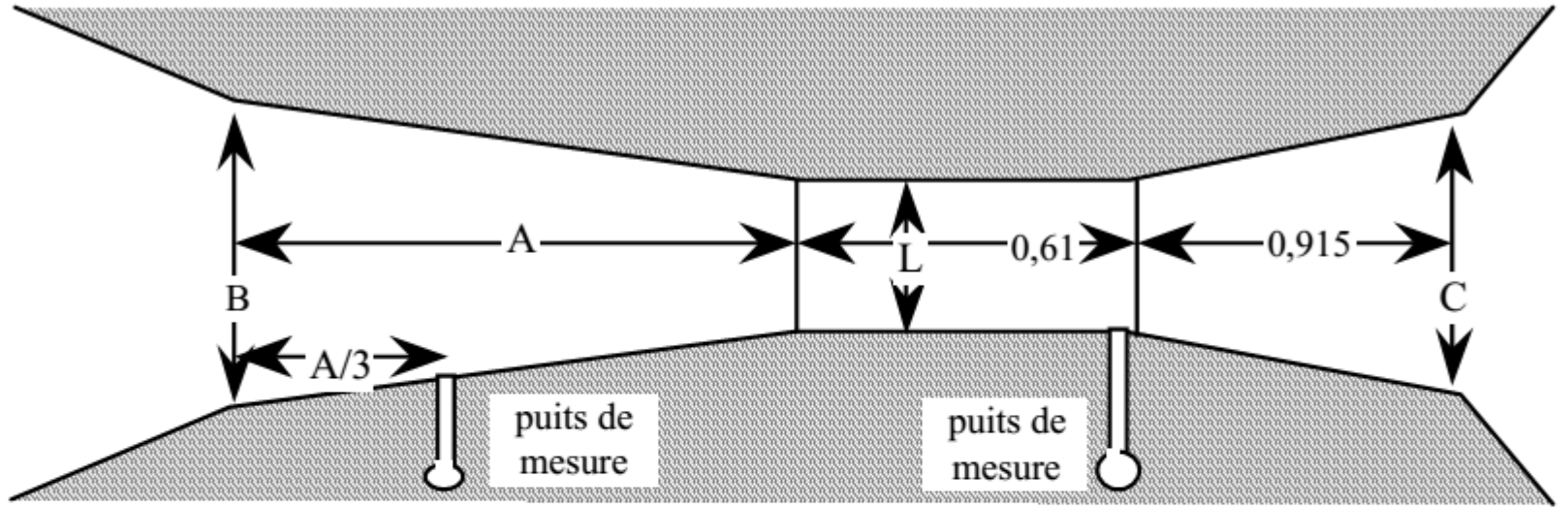
Le jaugeur à ressaut le plus connu est le jaugeur "*Parshall*" figuré ci-dessus. Les différentes dimensions sont normalisées en fonction de sa largeur L au col.

$$\left. \begin{aligned} A &= 0.49 L + 1.194 \\ B &= 1.196 L + 0.479 \\ C &= L + 0.305 \end{aligned} \right\} \text{ABC et L en mètres}$$

Le débit Q (en m^3/s) est fonction de la largeur L au col (en m) et de la hauteur d'eau H (en m) :

$Q = 0,372 L (H * 3,28)^x$ où l'exposant x dépend de la largeur au col L :

L (en m)	0,2	0,6	0,8	1,0	2,0	2,6
x	1,506	1,548	1,560	1,569	1,598	1,609



4 - Jaugeages par dilution

Le principe général du jaugeage par dilution est simple. On injecte dans une section I, un traceur à une concentration C_1 ; en un point de prélèvement P situé en aval, on prélève un échantillon d'eau de la rivière et l'on détermine sa concentration C_2 en traceur. Il est alors aisé d'établir la relation entre le débit Q du cours d'eau et les concentrations C_1 et C_2 , soit par l'égalité des flux, soit par la conservation des masses entre les points P et I selon les procédés d'injection.

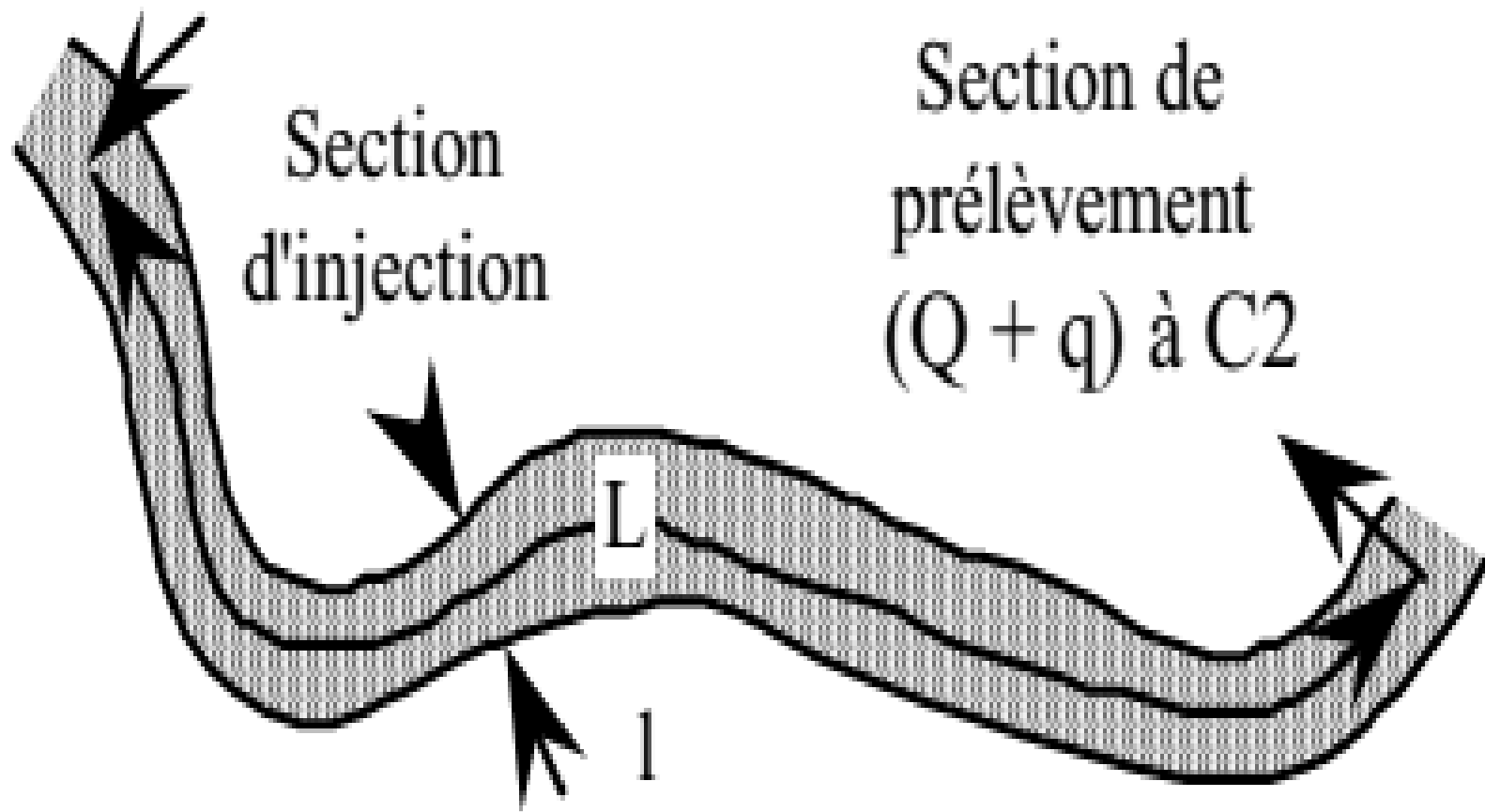
q à C1

Section
d'injection

Section de
prélèvement
 $(Q + q)$ à C2

L

l



Choix du traceur

A priori, le nombre de traceurs utilisables est élevé ; cependant, il est souhaitable qu'ils possèdent les qualités

suivantes :

- facilement solubles dans l'eau,
- stables chimiquement en solution,
- non toxiques,
- facilement dosables et à faibles concentrations,
- peu coûteux,
- non adsorbable par les matières en suspension ou au contact des rives (argiles),
- non préexistants dans le cours d'eau (si possible) ou à faible concentration,

1. Injection à débit constant

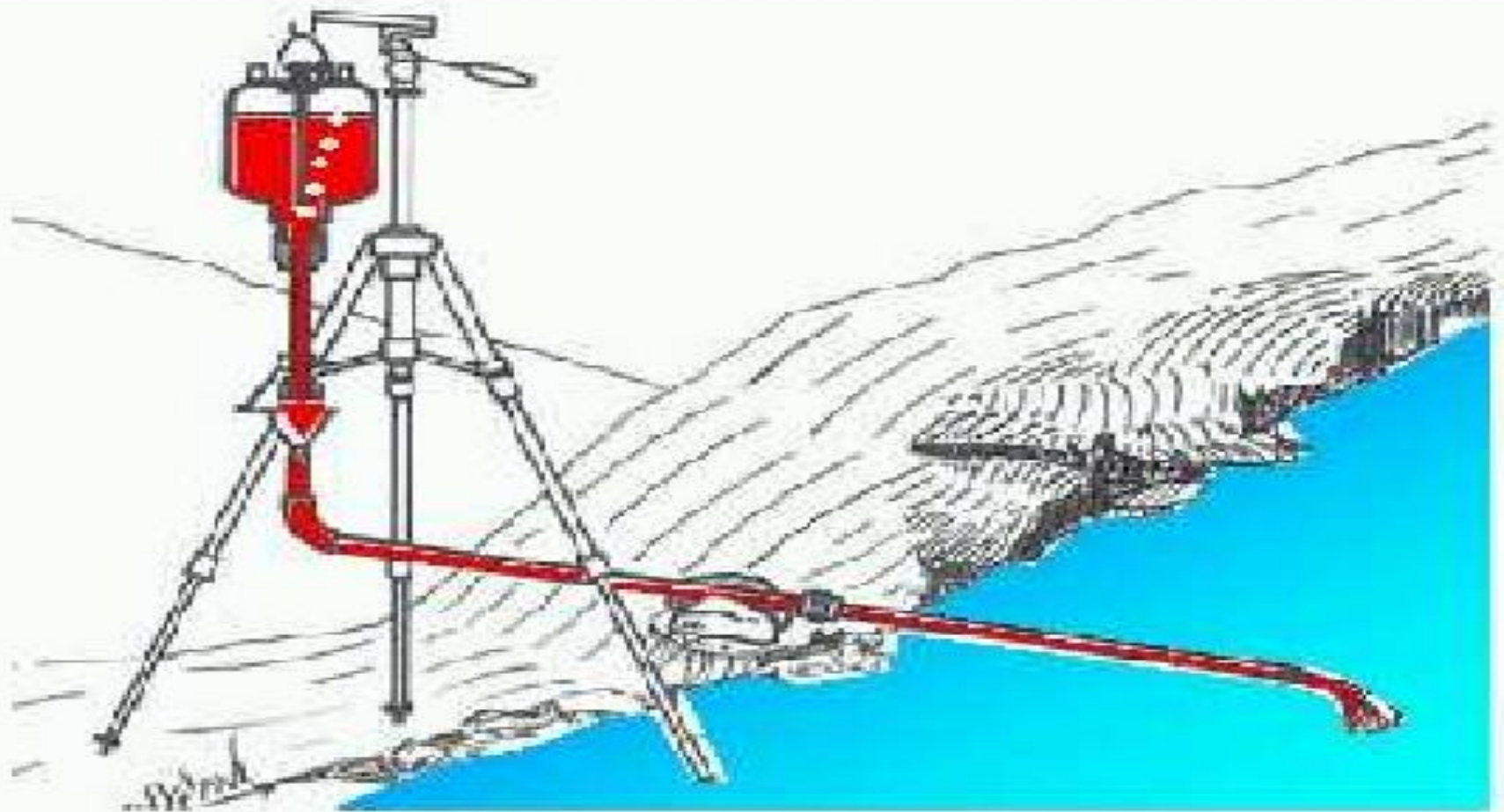
Supposons que l'on ait déterminé le site d'injection I, la distance de bon mélange L et par conséquent le point de prélèvement P ; on injecte en I un débit constant q de traceur à la concentration C_1 . Au point P, on prélève des échantillons à la concentration C_2 . Si on peut supposer que le régime permanent est atteint, le flux de traceur entrant dans le tronçon est égal au flux sortant :

$$q.C_1 = (Q + q).C_2$$

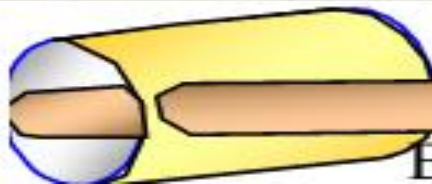
En général, q est négligeable devant Q , d'où l'on tire :

$$Q = q \frac{C_1}{C_2}$$

$$Q = \frac{V \cdot C_1}{\int_0^{\infty} C_2(t) dt}$$



Prélèvement



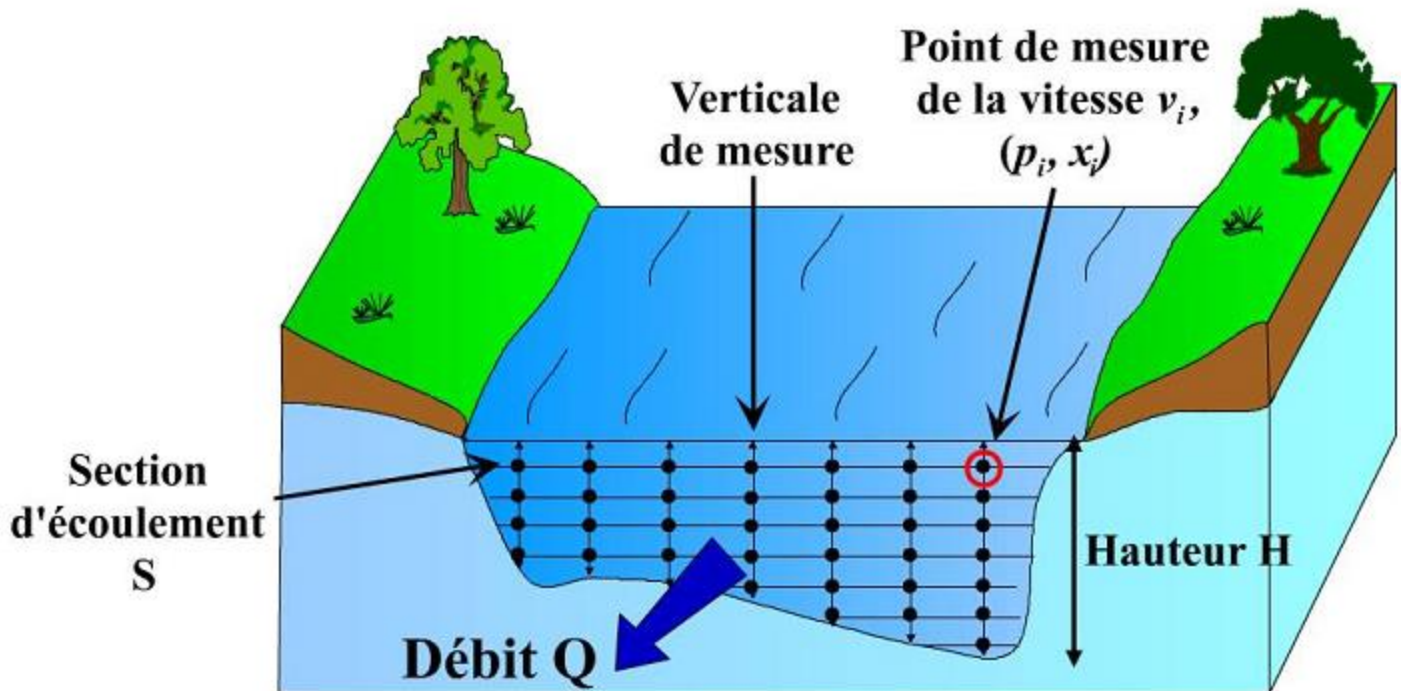
Boite de conserve

Manche à balais



LE JAUGEAGE PAR EXPLORATION DU CHAMP DE VITESSE

Le jaugeage d'un cours d'eau consiste à mesurer la vitesse du courant. Cette vitesse varie latéralement d'une berge à l'autre et verticalement de la surface de l'eau au fond du lit. C'est pourquoi pour chercher la vitesse moyenne du courant, il faut faire plusieurs mesures en différents points de la section mouillée.



Matériel de jaugeage

Le moulinet est un appareil de mesure de la vitesse d'un mouvement fluide. Il est composé d'une hélice qui détecte la vitesse du courant et transmet les indications à un compteur . Les moulinets sont montés sur des perches pour jauger les basses eaux ; et sont montés sur des saumons pour jauger les hautes eaux et les crues.

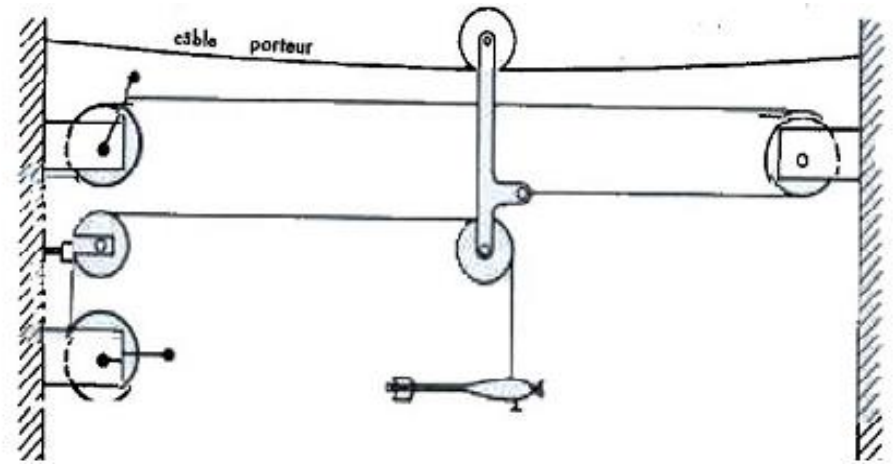
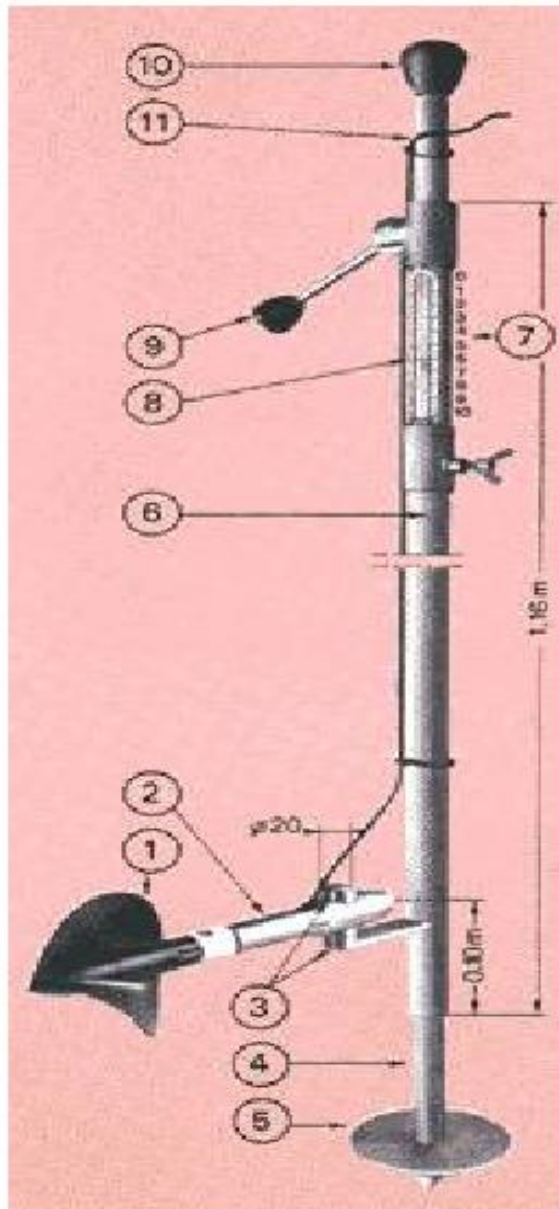


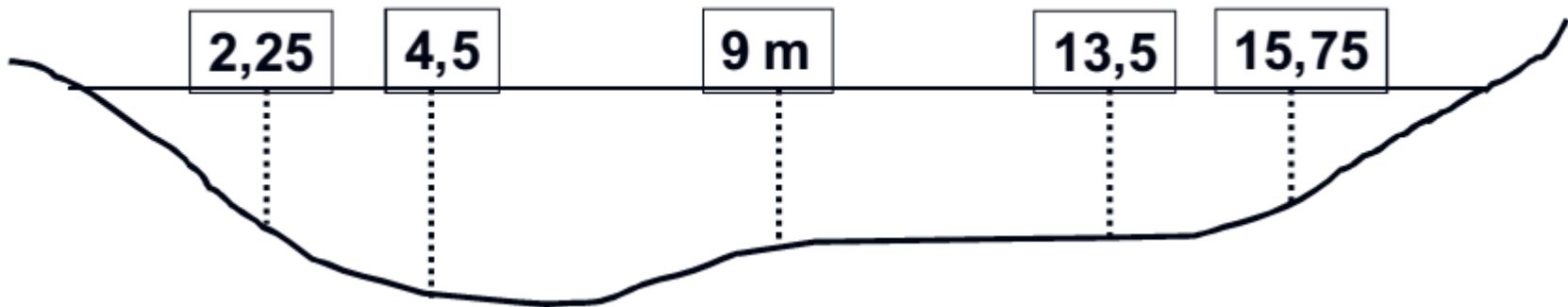
Figure 4 : Moulinet et moulinet sur saumon

Dépouillement des jaugeages au moulinet et calcul des débits

**Choix des positions des verticales de mesure :*

Les verticales de mesure sont souvent choisies dans la largeur de la section mouillée de façon à condenser davantage les mesures vers les berges ; pour cela on adopte une méthode qui consiste à choisir tout d'abord le milieu de la section, puis les quarts, les huitièmes...etc. en direction des berges.

Le nombre des verticales à choisir dépendra de la largeur de la section (5, 7, 9...verticales). Par exemple, pour une section transversale de 18 m de largeur, il y aura une verticale de mesure à 9 m de la berge, puis à 4,5 et 13,5 m, ensuite à 2,25 et 15,75 m.



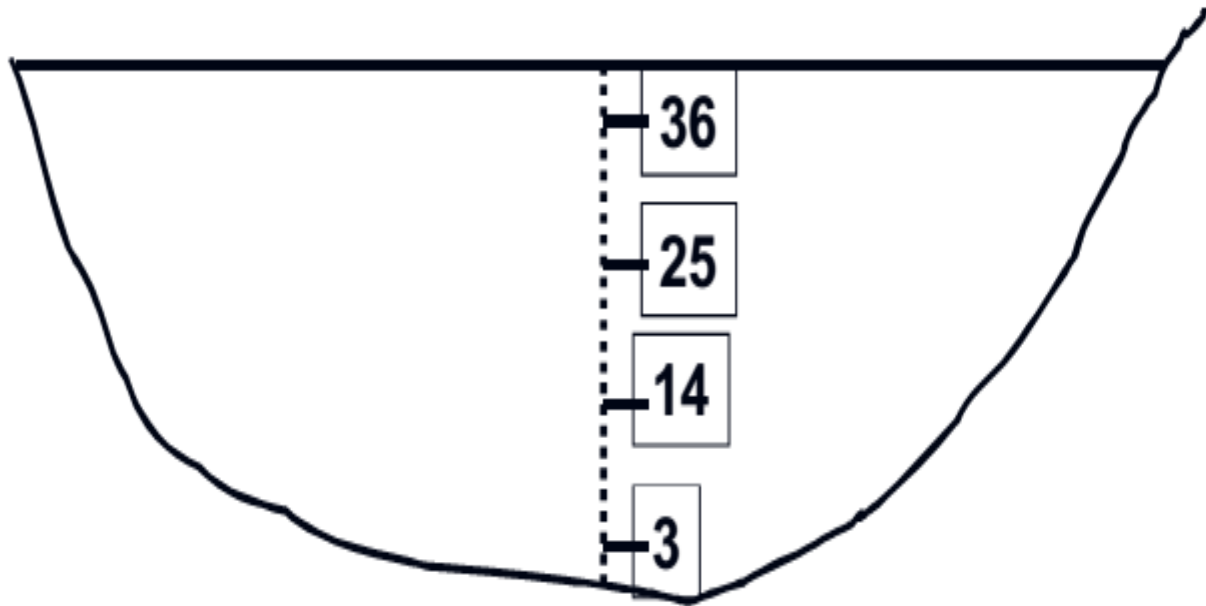
Remarque : Il arrive de choisir des verticales équitablement espacées ; dans ce cas, pour la section de 18 m de largeur, les verticales seront à 3, 6, 9, 12 et 15 m de la première berge

Profondeurs de mesure des vitesses du courant :

Selon la profondeur, on effectue généralement 3 à 5 mesures par verticale. - Pour les jaugeages au micromoulinet (basses eaux), on commence à 3 cm au-dessus du fond, et on terminera au moins à 3 cm sous la surface de l'eau.

Pour choisir n points de mesure, on applique la règle : $(Pt - 6)/(n - 1)$
pt est la profondeur totale (ou hauteur d'eau) Si la hauteur d'eau est de 40 cm et on veut effectuer 4 points de mesure par exemple : $40 - 6 = 34$ et $34 / 3 = 11,3$ qu'on peut arrondir à 11 ,

on choisira alors les points espacés de 11 cm, soit les hauteurs : 3, 14, 25 et 36 cm.



Pour choisir 5 points de mesure sur la verticale, on divise par 4 et on applique la même règle. On aura les hauteurs 3, 11, 20, 28 et 37 cm.

Exemple de jaugeage au micro-moulinet (Basses eaux)

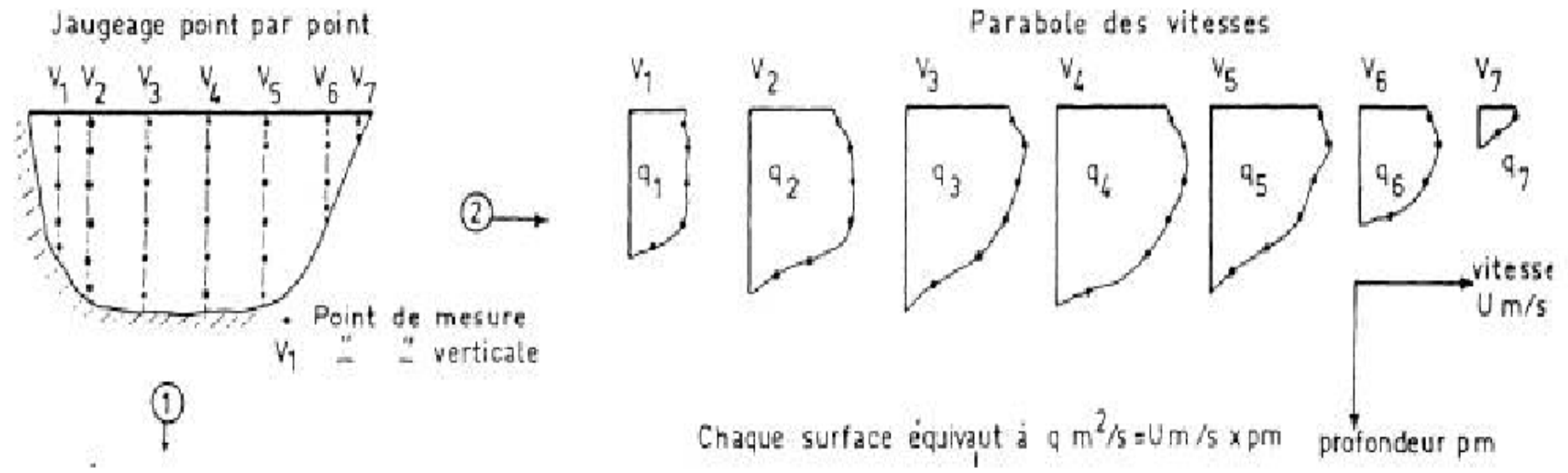
On se propose de jauger sur une section large de 2 m (soit 200 cm). Les verticales de mesure seront positionnées à 25, 50, 100, 150 et 175 cm de la rive. Les résultats du jaugeage sont sur le tableau suivant, sachant que la formule de l'hélice qui donne la vitesse du courant est : $V = 0.056 n + 0,035$ (n est le nombre de tour par seconde).

Distance (cm)	Hauteur d'eau(cm)	Nombre de tops	Temps (s)	Vitesse (m/s)
0	0	0		
25	15			
-	3	57	30	0.141
-	6	64	30	0.154
-	9	87	30	0.197
-	12	96	30	0.214
50	18			
-	3	47	30	0.123
-	6	59	30	0.145
-	9	63	30	0.153
-	12	69	30	0.164
-	15	72	30	0.169

Distance (cm)	Hauteur d'eau(cm)	Nombre de tops	Temps (s)	Vitesse (m/s)
100	15			
-	3	93	30	0.209
-	6	109	30	0.238
-	9	112	30	0.244
-	12	99	30	0.220
150	15			
-	3	53	30	0.134
-	6	64	30	0.154
-	9	72	30	0.169
-	12	84	30	0.192
175	9			
-	3	37	30	0.104
-	6	42	30	0.113
200	0			

Exploration des champs des vitesses par la méthode des paraboles et calcul du débit :

On trace pour chaque verticale la courbe des vitesses en fonction de la profondeur (dite parabole des vitesses).



On l'appelle débit unitaire (pu) et il est exprimé en m^2/s .

On trace ensuite la courbe de variation de ces débits unitaires suivant la largeur de la section. Le planimétrage de l'aire délimitée par cette courbe donne le débit en m^3/s .

