

Chapitre 3 Etude des débits des cours d'eau.....

Comment mesure-t-on les débits dans les cours d'eau ?

Qu'est-ce qu'une station hydrométrique ?

Une station hydrométrique est un dispositif permettant d'observer et de mesurer une hauteur d'eau ou un débit d'un cours d'eau.

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**.

Le niveau d'eau dans un canal est facilement observable, mais n'est représentatif que de la section d'observation et peut être soumis à des modifications dans le temps. Seule la variable débit reflète physiquement le comportement du bassin versant, et peut être interprétée dans le temps et l'espace.

Les niveaux des rivières, des lacs ou des réservoirs servent directement à la prévision des écoulements, à la délimitation des zones exposées aux inondations, et à la conception d'ouvrages hydrauliques. Par leurs relations avec les débits des cours d'eau ou les volumes d'eau contenus dans les réservoirs et les lacs, les niveaux d'eau constituent l'information de base pour la détermination des débits ou des stocks. Les critères de choix pour l'emplacement de la station doivent répondre à l'objectif final des observations et à l'accessibilité du site, compte tenu des propriétés géométriques et hydrauliques du bief. Les conditions hydrauliques constituent également un facteur important pour le choix du site le long de cours d'eau, particulièrement lorsque les niveaux d'eau sont utilisés pour le calcul des débits. Les stations sur les lacs et les réservoirs sont normalement situées près des exutoires, mais suffisamment en amont pour éviter l'influence du phénomène d'abaissement du niveau dû à l'augmentation de la vitesse.

Notion de débit instantané

Le débit —volume d'eau traversant une section de cours d'eau pendant une unité de temps— s'exprime ainsi en mètres cube par seconde (m^3/s).

$$Q = \frac{v}{t}$$

Deux catégories de méthodes permettent de mesurer le débit à travers une section donnée :

- la méthode directe : Les méthodes "volumétriques" (ou jaugeage capacitif) permettent de déterminer le débit directement à partir du temps nécessaire pour remplir d'eau un récipient d'une contenance déterminée. Compte tenu des aspects pratiques inhérents à la méthode de mesure (taille du récipient nécessaire, incertitude sur la mesure du temps, aménagement spécifique éventuel), cette méthode n'est généralement pratiquée que pour des débits très faibles, quelques l/s au plus.

Chapitre 3 Etude des débits des cours d'eau.....

- Les méthodes indirectes permettent de déterminer le débit en effectuant la mesure d'une autre variable telle que la hauteur d'eau ou la vitesse d'écoulement.

Les méthodes "**d'exploration du champ de vitesse**" consistent à déterminer la vitesse de l'écoulement en différents points de la section, tout en mesurant la surface de la section mouillée.

Ces techniques nécessitent un matériel spécifique (moulinet, perche, saumon, courantomètre...) et un personnel formé à son utilisation.

Les méthodes "physico-chimiques" prennent en compte les variations, lors de l'écoulement, de certaines propriétés physiques du liquide (concentration en certains éléments dissous). Ces méthodes consistent généralement à injecter dans le cours d'eau un corps en solution, et à suivre l'évolution de sa concentration au cours du temps. Ce sont les méthodes dites «**par dilution**» ou encore «chimique».

Toutes ces méthodes de mesures des débits nécessitent généralement un régime d'écoulement en régime fluvial, sauf les jaugeages chimiques, qui sont appropriés en cas d'écoulement torrentiel

2. Mesure de la hauteur d'eau

La manière la plus courante pour la détermination du débit est la mesure de la hauteur d'eau (côte). Le niveau d'eau dans un canal est facilement observable, mais n'est représentatif que de la section d'observation et peut être soumis à des modifications dans le temps. 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** $Q=f(H)$.

La courbe de tarage, une fois établie, permet à tout moment d'obtenir le débit à partir d'une hauteur d'eau observée dans la section de mesure.

La mesure de la hauteur d'eau est effectuée de manière discontinue grâce aux **échelles limnimétriques** ou de manière continue à l'aide des **limnigraphes**.

Les échelles limnimétriques :

Ce sont des règles graduées placées au bord des rivières et des oueds pour repérer le niveau de l'eau. Les échelles limnimétriques nécessitent la présence d'un observateur pour effectuer les lectures. Ces dernières sont effectuées 3 à 4 fois par jours en période d'étiage (faibles débits) et tous les 10 minutes en période de crues.

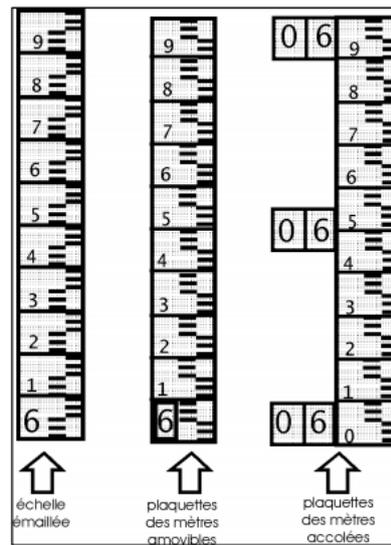


Figure 1: Echelle limnimétrique

Les limnigraphes :

Le limnigraphe à flotteur : c'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).

Les limnigraphes à flotteurs sont simples à utiliser mais leur utilisation est difficile dans les cours d'eau à forte charge solide à cause de l'ensablement du puits du flotteur ou de la prise d'eau sur la rivière.

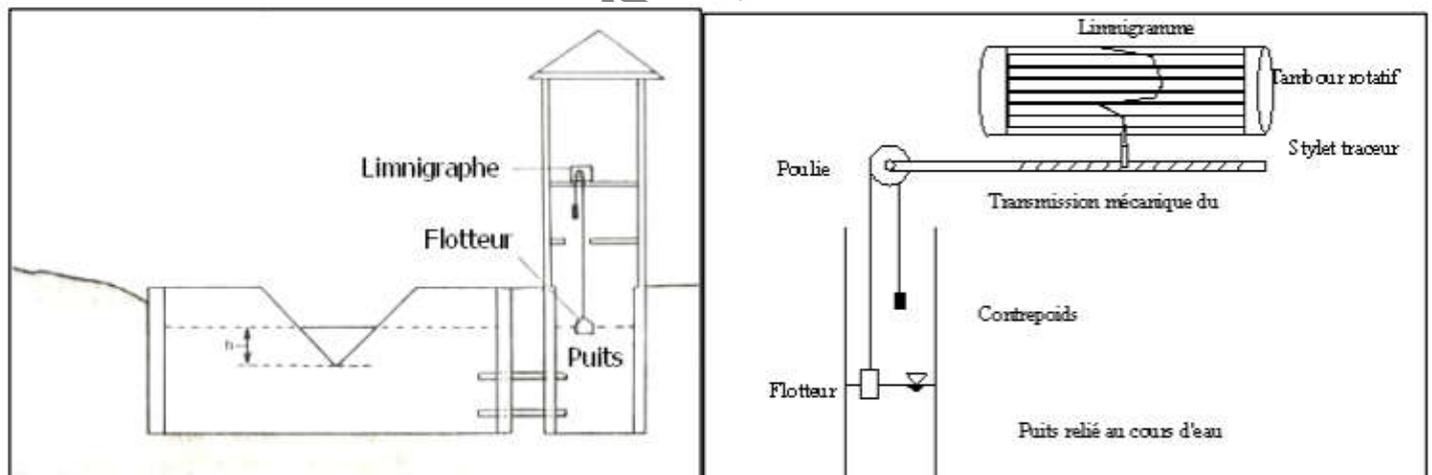


Figure 2 : Limnigraphe à flotteur

Mesure de débit (jaugeage)

1. Jaugeage par exploration du champ de vitesse

La mesure de débit peut se faire à partir de la mesure de la vitesse en différents points de la section d'écoulement.

La vitesse d'écoulement n'est jamais uniforme dans la section transversale d'un cours d'eau. Le principe de cette méthode consiste donc à calculer le débit à partir du champ de vitesse déterminé dans une section transversale du cours d'eau (en un certain nombre de

Chapitre 3 Etude des débits des cours d'eau.....

points, situés le long de verticales judicieusement réparties sur la largeur du cours d'eau).

Parallèlement à cette exploration du champ de vitesse, on relève le profil en travers du cours d'eau en mesurant sa largeur et en effectuant des mesures de profondeur.

Le débit Q s'écoulant dans une section d'écoulement S d'une rivière peut être défini à partir de la vitesse moyenne V perpendiculaire à cette section par la relation :

Plusieurs méthodes permettent de déterminer la vitesse moyenne de l'eau.

a. Le jaugeage au moulinet

Le moulinet hydrométrique permet de mesurer la vitesse ponctuelle de l'écoulement. Un moulinet comporte un équipage tournant (hélice) qui, lorsqu'il est plongé dans l'eau, tourne à une vitesse d'autant plus grande que la vitesse de l'eau est plus forte. La vitesse d'écoulement est mesurée en chacun des points à partir de la vitesse de rotation de l'hélice située à l'avant du moulinet (nombre de tours n par unité de temps). La fonction $V = f(n)$ est établie par une opération d'étalonnage (courbe de tarage du moulinet).

V = vitesse en m/s n = nombre de tours/seconde

$$V = a + b n$$

a = valeur de V pour $n = 0$, et b = le pas de l'hélice tournante

Le nombre de mesures sur une verticale est choisi de façon à obtenir une bonne description de la répartition des vitesses sur cette verticale. De manière générale, on fera entre 1, 3 ou 5 mesures suivant la profondeur du lit.

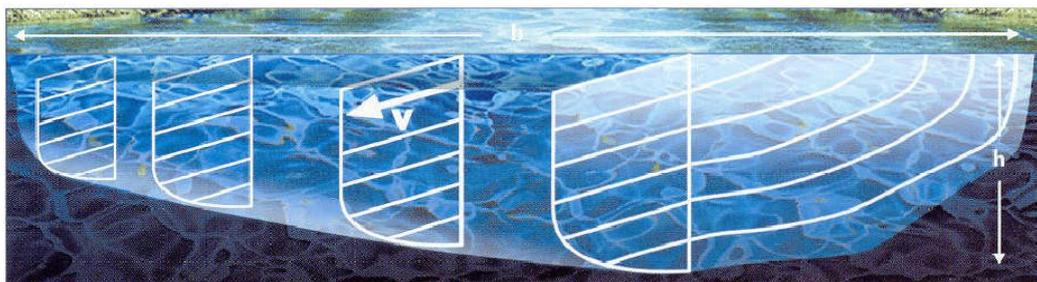
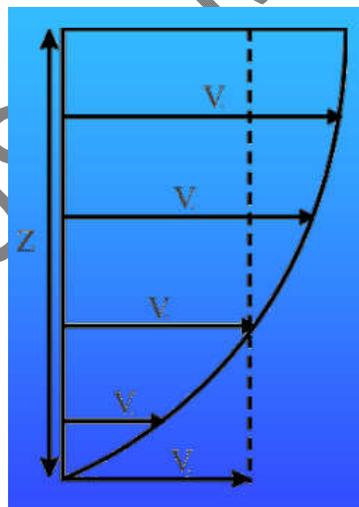
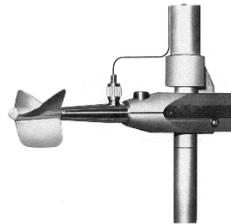


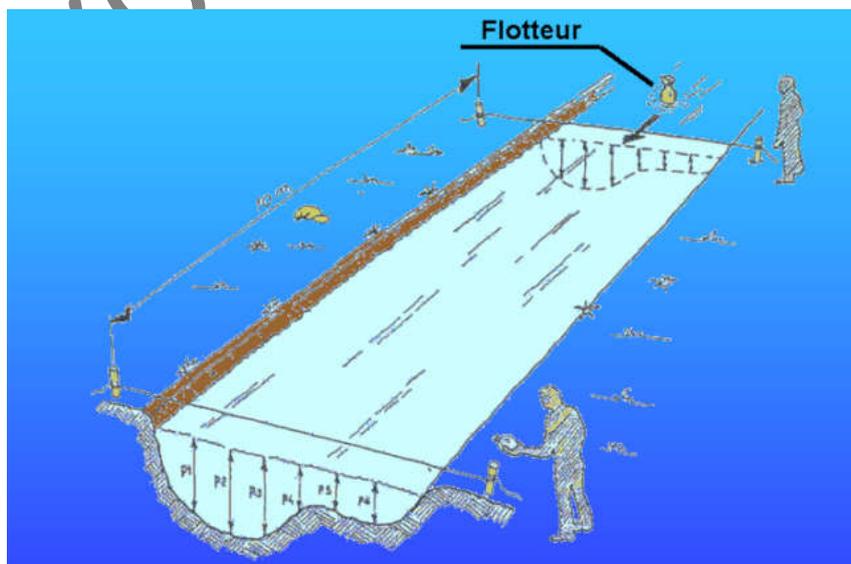
Figure : représentation du débit d'une rivière

Chapitre 3 Etude des débits des cours d'eau.....



b. Jaugeage au flotteur :

Lorsque le jaugeage au moulinet ne peut pas être effectué en raison de vitesses et de profondeurs excessives ou au contraire trop faibles, ou de la présence de matériaux en suspension, il est possible de mesurer la vitesse d'écoulement au moyen de flotteurs. Il s'agit dans cette méthode de mesurer uniquement les vitesses dans la tranche superficielle de l'écoulement (les 20 premiers centimètres environ). Les flotteurs peuvent être soit artificiels (bouteilles en plastiques) soit naturels (arbres, grosses branches, etc.). Le déplacement horizontal d'un flotteur de surface durant un temps t permet de déterminer la vitesse de l'écoulement de surface. Plusieurs mesures de vitesse du flotteur doivent être réalisées. La moyenne de ces mesures est ensuite multipliée par un coefficient approprié pour obtenir la vitesse moyenne de l'élément de section. En général, la vitesse moyenne dans la section est de l'ordre de 0,4 à 0,9 fois la vitesse de surface.



Chapitre 3 Etude des débits des cours d'eau.....

Calcul du débit par exploration du champ de vitesse :

L'exploration du champ des vitesses peut se faire de manière continue ou discontinue. On procède généralement par deux manières différentes :

Méthode par points :

En chaque point fixé de la verticale choisie, on mesure la vitesse, pendant au moins 30 sec. Cinq points par verticale sont souhaitables. Les mesures de vitesses s'effectuent à 20%, 40%, 60% et 80% de la profondeur, près de la surface et près du fond. Le calcul de la vitesse moyenne dans toute la section se fait par intégration graphique ou numérique.

Méthode par intégration :

Elle consiste à mesurer directement une vitesse moyenne par section verticale. Pour ce faire, l'opérateur doit laisser descendre puis remonter l'appareil de mesure des vitesses le long d'une verticale à vitesse constante et lente. L'opérateur relèvera à la fin de l'opération la durée et le nombre de tours effectués par l'appareil

Profondeur de l'eau d (m)	Points de mesure de la vitesse	Vitesse moyenne (m/s)
0.3-0.6	0.2 d à partir de la surface	$V = V_{0.2}$
0.6-3	0.2 d et 0.8 d	$V = \frac{1}{2}(V_{0.2} + V_{0.8})$
3-6	0.2 d, 0.6 d et 0.8 d	$V = \frac{1}{4}(V_{0.2} + 2 \cdot V_{0.6} + V_{0.8})$
>6	surface, 0.2 d, 0.6 d, 0.8 d et fond	$V = \frac{1}{10}(V_s + V_{0.6} + 3 \cdot V_{0.8} + V_f)$

Le calcul de la vitesse moyenne de l'écoulement et donc du débit de l'écoulement peut se faire par intégration graphique ou numérique. Parmi les méthodes permettent d'estimer le débit à partir des mesures de vitesse :

Méthode des paraboles

Méthode des isotaches

Exemple de calcul

Le jaugeage au moulinet effectué à la station de Sidi Aich sur l'oued de Soummam le 5 octobre entre 13 h 40 et 14 h 20 a donné les résultats suivants :

Chapitre 3 Etude des débits des cours d'eau.....

Heure	S _i	X _i	P(m)	N	t (sec)	n	V (m/s)	q _i	Obs
13h40	S ₀	0.0							RD
	S1	1.0	0.03	168	25.9				Fond
			0.10	165	25				
			0.28	125	25				
			0.36	0					
	S2	4.0	0.03	200	25				Fond
			0.2	160	25				
			0.38	100	25				
			0.46	0					
	S3	7.0	0.03	219	25				Fond
			0.20	207	25				
			0.35	153	25				
			0.43	0					
	S4	10	0.03	139	25				Fond
			0.1	129	25				
			0.18	109	25				
			0.26	0					
	S5	12.0	0.03	37	25				Fond
			0.075	28	25				
			0.155	0					
14h20		12.5							RG

S_i : section ; X_i : Abscisse de la section S_i ; P : profondeur de la section S_i ; N : nombre de tours du moulinet ; n=N/t : nombre des tours par seconde ; V : vitesse de l'eau ; q_i : débit spécifique ; RD : rive droite ; RG : rive gauche ; Sachant que la formule d'étalonnage du moulinet est :

$$V = 0.1319 n + 0.032 \quad \text{pour} \quad n \leq 2.93$$

$$V = 0.1360 n + 0.020 \quad \text{pour} \quad n > 2.93$$

Calculer le débit de l'écoulement mesuré par ce jaugeage

Aide : les étapes de calcul sont les suivantes :

- 1) Calcul des vitesses grâce à l'une des formules ci-dessus
- 2) On porte sur papier millimétré pour chaque section en ordonnées les profondeurs et en abscisses les vitesses respectives.
- 3) La courbe obtenue est égale au débit spécifique en (m²/s) relative à la section considérée
- 4) On porte sur papier millimétré en ordonnées les débits spécifiques trouvés en b et en abscisses les distances à la rive droite de chaque section
- 5) La surface sous la courbe est égale au débit Q de l'oued
- 6) Déterminer la section mouillée
- 7) Calculer la vitesse moyenne de l'écoulement