

LA MESURE DE DEBIT DES COURS D'EAU



Rapport d'activité rédigé à l'Agence de l'eau Rhin-Meuse
du 10 juillet 2000 au 15 septembre 2000

Thierry JACQUIN
I.U.T Mesures physiques
Metz Technopôle 2000

SOMMAIRE

Remerciements.....	p
Introduction.....	p
Présentation de l'Agence de l'Eau.....	p
Rappels.....	p
La mesure de débits en milieu naturel.....	p
Méthodes par exploration du champs de vitesse.....	p
- Jaugeages au moulinet.....	p
a) La mesure point par point.....	p
b) La mesure par intégration.....	p
Application.....	p
- Les méthodes acoustiques.....	p
a) Les oscillateurs acoustiques.....	p
b) Le profileur de courant à effet Doppler.....	p
- Le courantomètre électromagnétique.....	p
Méthodes de jaugeage par dilution.....	p
a) Méthode par intégration.....	p
b) Méthode de l'injection à débit constant.....	p
Précision des mesures.....	p
Domaines d'application.....	p
Utilisation des mesures hydrométriques	p
Conclusion.....	p
Bibliographie.....	p
Annexes.....	p

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier la direction de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse ainsi que la hiérarchie de la Division Milieu Naturel et Données Techniques pour avoir permis que cette formation soit réalisable.

Je remercie également Monsieur Jean-Claude AUER pour m'avoir accompagné au cours de la rédaction de ce rapport.

INTRODUCTION

Dans le cadre de la formation continue 'D.U.T. Mesures Physiques en 12 mois' réalisée à l'I.U.T Mesures Physiques de Metz, les stagiaires salariés doivent présenter un rapport d'activité rédigé au sein de l'entreprise où ils sont employés.

En ce qui me concerne, j'ai élaboré ce document à l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse où j'occupe un poste d'Agent Technique.

Le sujet de mon rapport est la réalisation d'un descriptif des techniques couramment mises en œuvre dans la pratique des mesures de débits en milieu naturel en vue de définir leurs domaines d'application.

Dans un premier temps, il s'agit de présenter l'agence de l'Eau Rhin-Meuse et de proposer un rappel concernant la notion de débit et le rôle de cette discipline dans la gestion des ressources en eau.

Il faut ensuite introduire et décrire les méthodes de mesures et de calculs des débits parmi lesquelles celles mises en œuvre à l'Agence de l'Eau.

Enfin, il est nécessaire de définir les méthodes applicables aux différents types d'écoulement et de cerner la finalité de ces mesures et les différentes étapes qui y mènent.

La rédaction de ce rapport s'est déroulée sous le regard de Monsieur Jean-Claude AUER, hydrologue à l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse.

PRESENTATION DE L'AGENCE DE L'EAU :

Les agences de l'Eau :

L'établissement en 1964 de la première loi sur l'eau, relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre la pollution, a entraîné la création des Agences de l'Eau.

Les Agences de l'Eau sont des établissements publics de l'état à caractère administratif jouissant de l'autonomie financière. Elles se placent sous la double tutelle du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et du Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie.

Le territoire national est couvert par six Agences de l'Eau :

- l'Agence de l'Eau Adour-Garonne
- l'Agence de l'Eau Artois-Picardie
- l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne
- l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse
- l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
- l'Agence de l'Eau Seine-Normandie

La répartition géographique des Agences correspond aux grands bassins hydrographiques nationaux.

L'agence de l'eau Rhin-Meuse :

L'agence de l'Eau Rhin-Meuse exerce sa compétence sur la partie française des bassins du Rhin, de la Moselle (et Sarre) et de la Meuse. Sa mission principale est d'aider financièrement et techniquement les opérations d'intérêt général au service de l'eau et de l'environnement du bassin. Elle couvre trois régions : Lorraine, Alsace et, en partie, Champagne-Ardenne; soit huit départements. Le bassin Rhin-Meuse occupe ainsi une superficie de 31 300 km² et abrite une population de 4 millions d'habitants répartis au sein de 3263 communes administratives. La situation frontalière du bassin Rhin-Meuse fait qu'il est très marqué par son contexte européen. L'Agence de l'eau est gérée par un conseil d'administration, un comité de bassin et un directeur. En 1999 son effectif était de 225 personnes, son budget primitif était de 1171,57 millions de francs (178,60 millions d'euros).

L'Agence est organisée en différentes unités nommées divisions :

- la Division Redevances,
- la Division Industrie et Agriculture,
- la Division Collectivités Territoriales,
- la Division Milieu Naturel et Données Techniques,
- la Division Ressources Humaines,
- la Division des Systèmes d'Information et de la Logistique,
- la Division Administration et Finances.

La Division Milieu Naturel et Données Techniques :

La Division est chargée de la connaissance de l'état et des moyens de protection et de restauration des ressources, des milieux, et des usages de l'eau, ainsi que de l'acquisition, de la validation et de la mise à disposition des données nécessaires. Elle donne des avis sur l'efficacité des interventions de l'Agence, sur l'impact des rejets et des aménagements pour le milieu naturel et les usages, et elle propose des éléments stratégiques pour la politique de l'Agence.

La Division est constituée de différents pôles d'activités :

- le Pôle Fonctionnement et pollution,
- le Pôle Milieu Naturel,
- le Pôle Santé Publique et Risques Environnementaux,
- l'Observatoire de l'Eau
- les Secrétariats Administratifs et Techniques.

Les mesures de débits sont réalisées par une équipe d'hydrométrie appartenant au pôle Milieu Naturel.

RAPPELS

Notion de débit :

Le débit volumique est le volume de fluide écoulé, pendant l'unité de temps, à travers une section déterminée. Il s'exprime en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et est généralement désigné par la lettre Q .

Le débit Q , la vitesse d'écoulement moyenne v , et la section S sont liés par l'équation fondamentale :

$$Q = v \cdot S$$

On a aussi :

$$Q = \iint_S v \cdot dS$$

La dimension d'un débit peut s'exprimer de 2 manières :

a) $[Q] = \text{L}^3 \text{T}^{-1}$

Sous cette forme, le débit apparaît comme le quotient d'un volume L^3 par un temps T et sera donc déduit par la mesure de ces deux grandeurs.

b) $[Q] = \text{L}^2 \text{LT}^{-1}$

Sous cette forme, le débit apparaît comme le produit d'une surface L^2 par une vitesse LT^{-1} qui sont alors les deux grandeurs à mesurer pour sa détermination.

Notons que l'on peut également parler de débit massique. Il s'agit alors de la masse de fluide écoulée à travers la section pendant l'unité de temps ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

Nous ne traiterons dans ce rapport que les débits volumiques.

Définitions :

Écoulements à surface libre : le liquide s'écoule au contact de l'atmosphère, ceci est caractéristique de l'écoulement des rivières.

Section mouillée S : section du cours d'eau limitée par la surface libre, le lit, et les rives.

Périmètre mouillé P : périmètre de la section mouillée excluant la surface libre.

Rayon hydraulique R_h : c'est le rapport $\frac{S}{P}$.

LA MESURE DE DEBITS EN MILIEU NATUREL

La gestion des ressources en eau exige une bonne connaissance du milieu aquatique tant au point de vue qualitatif que quantitatif. La discipline dont l'objet est la mesure du débit des cours d'eau se nomme l'hydrométrie. Son rôle consiste à réaliser l'estimation des débits des écoulements de surface (rivières, fleuves, canaux...) grâce à la mise en œuvre de mesures et d'enregistrement de données. La connaissance des débits est indispensable en matière d'utilisation des ressources en eau, de protection de ces ressources et de maîtrise des crues et des étiages. De plus, l'aspect quantitatif des écoulements, reliés aux paramètres qualitatifs déterminés lors d'analyses physico-chimiques, permet de calculer les flux de polluants transitant au sein des cours d'eau. Ceci afin de maîtriser l'impact des rejets dans le milieu naturel.

L'hydrométrie est une branche d'un domaine scientifique qui est l'hydrologie et dont le but est l'étude de l'ensemble des phénomènes relatifs à la nature des ressources en eau. On appelle 'jaugeage', l'opération visant à réaliser la mesure du débit d'une rivière. Le technicien chargé d'effectuer cette tâche est désigné par l'appellation d'hydrométriste' ou encore de 'jaugeur'.

La difficulté de ce type de mesure réside dans l'instabilité du milieu dans lequel elle est réalisée. En effet, les cours d'eau subissent tout au long de leur parcours un ensemble d'évènements qui tendent à modifier les conditions d'écoulement. Ces évènements peuvent être de nature physique, géologique ou anthropique. Parmi ces phénomènes nous pouvons citer la pluviométrie, les infiltrations, les résurgences, les rejets industriels ou ménagers, les prises d'eau, l'érosion, les variations de pente, la végétation aquatique...etc... Et la liste n'est pas exhaustive ! Autant de perturbations qui peuvent, au cours du jaugeage, faire varier les vitesses du courant, les hauteurs d'eau et, s'il y a modification du volume, les débits eux-mêmes.

Ainsi, déjà en 1909, Monsieur Barbillon déclarait au sujet des mesures du débit des turbines, lors des essais de réception des usines hydro-électriques : « Le problème de la mesure des débits constitue l'une des plus pénibles incertitudes scientifiques actuelles ». Il semble que cette citation soit toujours d'actualité tant les sources d'imprécisions sont difficiles à maîtriser.

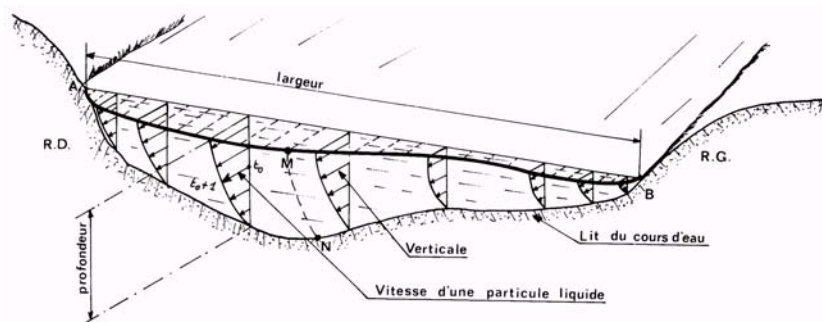
On distingue principalement deux types de méthode pour l'exécution des jaugeages, les méthodes par exploration du champ de vitesse, et les méthodes par dilution appelées aussi 'jaugeages chimiques'. Ces deux catégories regroupent un ensemble de techniques d'hydrométrie qui utilisent des propriétés physiques ou chimiques très variées présentant chacune son lot d'avantages et d'inconvénients. Le technicien dispose ainsi d'une palette d'outils qui lui permettront d'effectuer le meilleur choix en fonction de la configuration du cours d'eau à jauger.

Les sections de jaugeages sont équipées d'un dispositif d'enregistrement des hauteurs d'eau et constituent un réseau un réseau de mesures suivi dans le temps. Les hauteurs doivent être relevées au début et à la fin de chaque jaugeage. Lorsque l'on dispose dans nombre suffisant de mesures, on peut établir une relation hauteur-débit appelée 'courbe de tarage'. Cette courbe et l'enregistrement des hauteurs permettent de calculer les débits au niveau de la section de mesure de manière continue.

Méthodes par exploration du champ de vitesse

D'après la définition donnée précédemment ($Q = v.S$), le débit est égal au produit de la vitesse v du fluide par la surface S de la section de mesure. La vitesse n'étant pas constante en tout point de la section, il est nécessaire d'en effectuer plusieurs mesures en différents points de la surface d'écoulement.

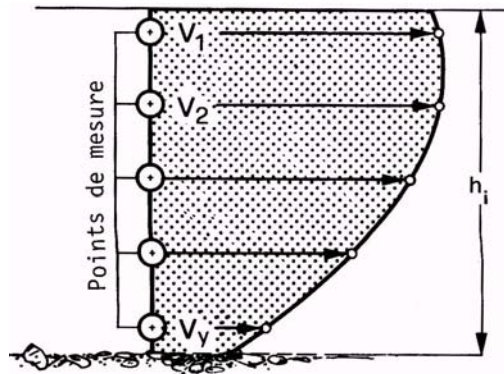
Il convient, dans un premier temps, de définir une section du cours d'eau dont les caractéristiques autorisent la réalisation d'une mesure de bonne qualité et garantissent la sécurité du jaugeur.



Biblio 3

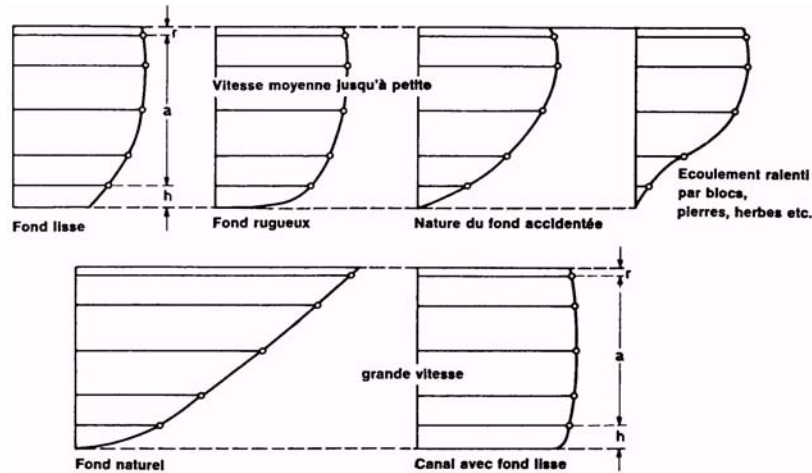
La section de jaugeage doit être choisie de telle sorte qu'elle présente un écoulement dont les lignes de courant sont parallèles. Si possible, éviter les sections présentant d'importants tourbillons, des zones d'eau morte et des remous. En théorie, la préférence du technicien doit aller vers un tronçon d'allure rectiligne entre des berges franches sur une distance d'au moins cinq fois la largeur en amont et trois fois la largeur en aval. Un lit régulier et bien calibré est un atout supplémentaire. Ces conditions sont malheureusement parfois difficiles à réunir.

La méthode consiste à mesurer les vitesses d'écoulement ponctuelle v_j en des points répartis le long de plusieurs verticales perpendiculaires à la droite représentant la largeur et dont les hauteurs h_i correspondent à la profondeur de la rivière au niveau de ces verticales. Les vitesses mesurées permettent de définir le polygone des vitesses propre à chaque verticale.



Biblio 2

Il faut noter que la configuration du polygone de vitesse est variable en fonction du type d'écoulement :



Biblio 2

Détail du calcul :

Si l'on considère que la vitesse v_j à travers un petit élément de surface dS est constante, le débit dQ sera donné par :

$$dQ = v_j \cdot dS$$

Ainsi, le débit total pourra être exprimé par la relation :

$$Q = \iint_S v_j \cdot dS$$

Cette formulation indique qu'il faut définir une vitesse moyenne sur toute la hauteur afin de définir un 'débit élémentaire' appelé 'profil unitaire' (designé par le symbole pu) qu'il faudra ensuite sommer sur toute la largeur.

Par intégration sur la profondeur h_i , on calcule le profil unitaire propre à la verticale i .

$$pu = \int_0^{h_i} v_j \cdot dh \quad [m^2 \cdot s^{-1}]$$

En intégrant ensuite le profil unitaire sur la largeur b de la section mouillée, on obtient le débit recherché.

$$Q = \int_0^b pu \cdot db \quad [m^3 \cdot s^{-1}]$$

Le débit Q à un instant donné et la surface de la section mouillée, permettent de calculer la vitesse moyenne dans la section à cet instant-là.

$$v_m = Q/S$$

Il est cependant possible de définir la vitesse moyenne suivant des horizontales sur toute la largeur. On peut ainsi déterminer un profil unitaire propre à chaque horizontale dont la sommation sur la profondeur permet de calculer le débit total.

On a alors :

$$Q = \int_0^{h_i} v \cdot dh \cdot \int_0^b db = \int_0^b v \cdot db \cdot \int_0^{h_i} dh$$

Nous allons maintenant décrire les méthodes couramment utilisées pour effectuer ces mesures.

JAUGEAGES AU MOULINET

Il s'agit de la technique la plus couramment mise en œuvre dans les métiers de l'hydrométrie. Elle fait l'objet de la norme ISO 2537-1974 relative à la mesure de débit des liquides dans les canaux découverts à l'aide de moulinets à coupelles ou à hélices.

Ce type de mesures se prête généralement bien à la configuration de la majorité des cours d'eau.

Moulinet :

Système de palettes ou d'hélices montées sur un axe vertical ou horizontal qui est mis en mouvement par la vitesse de l'eau.

Principe général :

La méthode de mesure au moulinet consiste à mesurer les vitesses v en divers points de la section dont on détermine simultanément la géométrie par une mesure de la largeur de cette section et des mesures de profondeur en des points judicieusement choisis.

Les vitesses sont obtenues à partir de la vitesse de rotation du moulinet (nombre de tours n par unité de temps), au moyen de la relation :

$$v = f(n) \quad [\text{m.s}^{-1}]$$

Cette relation est établie au cours de l'opération d'étalonnage réalisée par le constructeur. Les configurations (moulinets + hélices) sont livrées accompagnées de leurs formules de tarage.

La formule de tarage est sensiblement linéaire pour une gamme de vitesses déterminée. Elle est représentée par une ou plusieurs droites d'équation :

$$v = a \cdot n + b$$

Avec :

- v : vitesse du courant en mètre par seconde,
- n : nombre réel de tours d'hélice par seconde,
- a : pas réel de l'hélice en mètre,
- b : vitesse dite de frottement en mètre par seconde ou vitesse de démarrage.

Les coefficients a et b sont déterminés expérimentalement pour chaque appareil. Notons que le pas de l'hélice correspond à la distance parcourue par le moulinet déplacé en eau calme lorsque l'hélice a fait exactement un tour.

On trouvera des exemples de formules de tarage en annexe.

La méthode de jaugeage au moulinet peut être appliquée de deux manières.

a) La mesure point par point :

On mesure les vitesses ponctuelles en différents points d'une verticale (3 à 6 selon la hauteur), et on procède ainsi sur un nombre de verticales défini en fonction de la géométrie de la section de mesure.

Le choix du nombre et de l'emplacement des verticales et des points de mesure doit permettre une représentation la plus fidèle possible de la réalité. Une bonne appréciation des conditions de mesure par l'opérateur est un atout pour un jaugeage de qualité.

Une bonne prise en compte de l'hétérogénéité de l'écoulement dans le temps est nécessaire. Pour cela, La durée de mesure en un point doit être d'au moins trente secondes si la vitesse de rotation de l'hélice est supérieure à deux tours par seconde. Pour des vitesses plus lente, ramener le temps de mesure à au moins quarante secondes.

L'inconvénient majeur de cette technique réside dans le fait que la mesure peut être longue, et par-là même, être influencée par les variations des conditions d'écoulement inhérentes aux cours d'eau.

b) La mesure par intégration :

Par cette méthode, on détermine la vitesse moyenne propre à une verticale de mesure en faisant circuler, à vitesse constante, le moulinet le long de cette verticale. La durée de la mesure d'une verticale doit être autant que possible supérieure à 30 secondes.

Le temps de déplacement du moulinet, ainsi que le nombre de tours effectué par l'hélice durant ce déplacement permettent, grâce à la formule de tarage de l'hélice, de calculer la vitesse moyenne associées à la verticale.

Le calcul du profil unitaire prend alors la forme du produit :

$$p_u = v_m \cdot h_i \quad [m^2 \cdot s^{-1}]$$

On est ensuite ramené au cas général pour le calcul du débit.

L'Agence de l'Eau utilise deux types de moulinet pour la mise en œuvre des jaugeages.

D'une part, le micromoulinet OTT C-2 permettant l'utilisation d'hélices de faibles diamètres.

D'autre part le moulinet OTT C-31 destiné aux hélices de diamètres plus importants.

Le diamètre et le pas des hélices sont choisis en fonction des vitesses d'écoulement.

L'utilisation des moulinets nécessite que ceux-ci soient installés sur un support relié à un équipement permettant la réalisation de la mesure. Le choix du support est directement lié à la configuration de la section au sein de laquelle on désire mesurer un débit. Il convient d'adjoindre au moulinet un ensemble de matériels dont l'objectif est de mesurer l'abscisse et la hauteur de chaque verticale ainsi que le nombre de tours effectué par l'hélice et le temps qu'aura durée cette mesure.

La perche de jaugeage par intégration :

Cet instrument est constitué :

- d'une perche en aluminium équipée d'un pied assurant son assise sur le lit du cours d'eau,
- d'un boîtier électronique assurant la mesure et l'affichage du nombre de tours effectué par l'hélice, du temps de mesure et de la profondeur du point de mesure ou de la verticale,
- d'un chariot mobile permettant le déplacement du moulinet le long de la perche,
- d'un moteur électrique commandant le translation du chariot.

Ce matériel est également utilisable pour les mesures au point par point.

Le moulinet fixé sur le chariot est placé au niveau du point de mesure dans le cas d'une mesure au point par point. Si c'est le méthode par intégration qui est choisie, le chariot effectuera un déplacement à vitesse constante le long de la perche sur toute la hauteur de la verticale. L'affichage du boîtier électronique permet de relever les paramètres relatifs à la mesure. Ces paramètres doivent être rigoureusement notés sur la feuille de jaugeage en vue du calcul du débit.

La perche de jaugeage permet l'utilisation des deux types de moulinets. Elle autorise la réalisation de la mesure dans le sens de la montée ou de la descente le long de la verticale.

Ce matériel est utilisé dans le cas où il est possible de réaliser une mesure à gué.

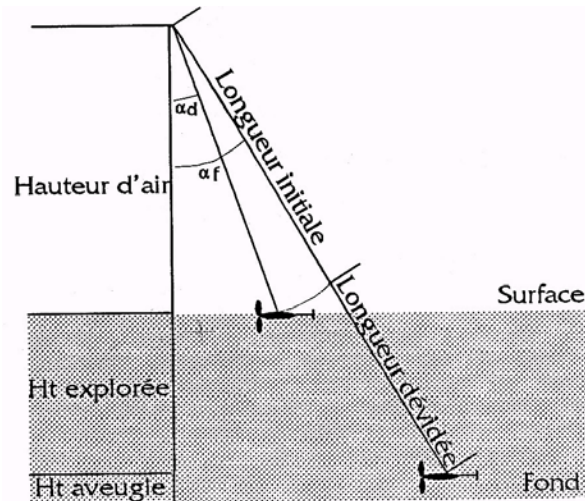
La cyclo-potence :

Cet équipement est mis en œuvre lorsque les hauteurs d'eau ou les vitesses n'autorisent pas une mesure à gué. Pour les mesures de crues, c'est le matériel qui est systématiquement mobilisé.

Ici, le moulinet est monté sur un lest de forme hydrodynamique appelé 'saumon'. Le saumon est équipé d'une dérive qui lui permet de se placer systématiquement dans le sens de l'écoulement. Il est relié par un câble à une potence équipée d'un moteur électrique qui lui permet de se positionner dans le cours d'eau. La potence ainsi que le dispositif de commande sont installés dans un camion de jaugeage, ceci nécessite de pouvoir effectuer la mesure à partir d'un pont. En général, la mesure est effectuée dans le sens de la descente le long de la verticale. L'Agence de l'Eau possède trois saumons de masses différentes (25, 50 et 100kg) que l'opérateur sélectionne en fonction de l'importance des vitesses. Un saumon trop léger n'offre pas un comportement stable quand les vitesses sont élevées. A l'instar de la perche de jaugeage, les matériels sont connectés à un dispositif permettant de relever les paramètres relatifs à la mesure. Le saumon est équipé d'un contacteur de fond qui interrompt la mesure lorsque le lit du cours d'eau est atteint.

Il faut noter que l'utilisation de la cyclo-potence nécessite la réalisation d'une correction des profondeurs mesurées. En effet, lors de l'introduction du saumon dans le courant, celui-ci subit une dérive consécutive à la force qu'exerce sur lui le courant. De ce fait, le câble qui le relie à la potence fait un angle avec une ligne perpendiculaire à celle-ci. En conséquence, la longueur de câble dévidée est supérieure à la hauteur d'eau réelle.

Schéma :



Biblio 4

La correction à apporter est de la forme :

$$He = \left(Hd + \frac{Ha}{\cos \alpha_d} \right) \cdot \cos \alpha_f - Ha$$

Avec :

- Ha : hauteur d'air,
- Hd : longueur dévidée,
- He : hauteur explorée,
- α_d : angle de début,
- α_f : angle de fin.

Nous pouvons constater, grâce à cette représentation, que la hauteur d'eau totale n'est pas explorée. En effet il existe, lors de chaque mesure, une hauteur dite 'aveugle' dont le moulinet ne peut mesurer la vitesse. On parle alors de constante de fond. Cette hauteur dépend du diamètre de l'hélice utilisée et de son support (pied de la perche de jaugeage ou contacteur de fond du saumon).

Il faut alors calculer le profil unitaire à proximité du fond. On utilise la relation suivante :

$$pu_{\text{fond}} = \text{constante de fond} \cdot \frac{2}{3} \cdot \text{vitesse moyenne de la verticale}$$

Ce débit élémentaire est alors ajouté au profil unitaire de la hauteur explorée de la verticale afin d'obtenir le profil unitaire total.

L'ensemble des calculs nécessaires à l'obtention du débit est réalisé à l'aide d'un logiciel créé dans ce but. Il convient de saisir tous les paramètres inhérents à la mesure qui nécessitent l'utilisation d'un facteur correctif. Dans ce sens, il est très important de relever tous les événements qui pourraient survenir au cours du jaugeage.

L'Agence de l'Eau utilise le logiciel BAREME élaboré et mis à disposition par la Direction Régionale de l'Environnement Rhône-Alpes.

Avantages de la mesure au moulinet :

- possibilité de mesurer une gamme étendue de vitesses en fonction du pas de l'hélice choisie (à partir de $0,05 \text{ m.s}^{-1}$),
- méthode adaptée à la majorité des écoulements généralement rencontrés,
- mesures réalisables sur une grande gamme de hauteurs (à partir de 15 cm),
- matériel aisé à mettre en œuvre.

Inconvénients :

- frottements mécaniques,
- le mouvement de l'hélice peut être gêné par la présence de végétation aquatique et de matériaux véhiculés par le courant.

Application :

Nous trouverons à la page suivante un exemple de mesure au moulinet suivant la méthode par intégration.

Ce jaugeage a été réalisé le 17 Août 2000 au niveau d'une station hydrométrique de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Il s'agit de la station de Froville installée sur un cours d'eau nommé l'Euron.

Cette station fait partie d'un réseau de mesure national et son objectif est de fournir des débits destinés à être mis en relation avec les paramètres analytiques issus des campagnes de prélèvement.

LES METHODES ACOUSTIQUES

Ces méthodes mettent à profit les propriétés physiques des ondes sonores, en l'occurrence, il s'agit d'ultrasons.

Une onde sonore est caractérisée par sa fréquence f et sa longueur d'onde λ . Sa vitesse de propagation est liée au milieu extérieur, dans l'eau, la célérité c des ondes acoustiques est d'environ 1500 m.s^{-1} .

Ces caractéristiques sont liées par la formule :

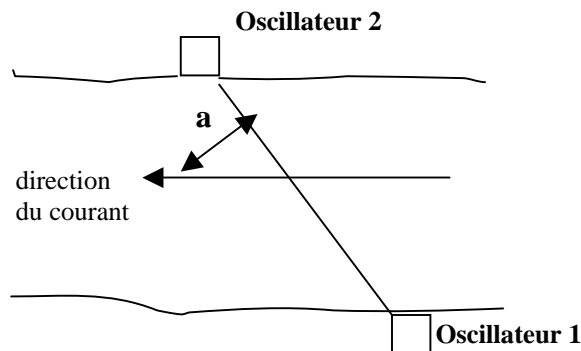
$$C = f.\lambda$$

On peut distinguer principalement deux techniques de mesures. L'une nécessitant l'installation au niveau d'une station de mesure d'oscillateurs acoustiques, l'autre étant fondée sur l'utilisation du courantomètre à effet Doppler.

a) Les oscillateurs acoustiques.

Principe :

Un oscillateur est installé sous l'eau à une certaine profondeur, sur chacune des rives, de façon à ce que la droite qui les relie fasse un certain angle avec la direction du courant. Les oscillateurs s'envoient alternativement des impulsions à travers l'eau de la rivière. Les impulsions de l'oscillateur 1 en direction de l'oscillateur 2 se propagent un peu plus rapidement que les impulsions dirigées en sens inverse parce qu'elles se déplacent dans le sens du courant, alors que les autres le remontent. Cette différence des temps de transmission, de l'ordre de $1/10\ 000$ de seconde suffit pour déterminer de manière très précise la vitesse moyenne du courant.



Fonctionnement :

L'oscillateur 1 émet une courte impulsion d'ultrasons. Après un temps t_1 de propagation, cette impulsion est reçue en 2 et transformée en un signal électrique qui déclenche une nouvelle émission en 1. Les impulsions émises par 1 vont donc se produire avec une certaine fréquence f_1 qui dépendra de t_1 . Après un certain temps, le cycle est inversé, 2 devient donc émetteur, et 1 devient récepteur. Le temps t_2 de propagation de 2 vers 1 déterminera une fréquence f_2 des émissions. La vitesse moyenne du courant v est calculée à partir de la différence des fréquences $f_1 - f_2$.

Calcul de la vitesse moyenne :

Temps de propagation de l'oscillateur 1 vers l'oscillateur 2 :

$$t_1 = \frac{L}{c + v \cdot \cos a} \quad (\text{avec } L = \text{distance entre les deux oscillateurs})$$

Temps de propagation de l'oscillateur 2 vers l'oscillateur 1 :

$$t_2 = \frac{L}{c - v \cdot \cos a}$$

Fréquence f1 :

$$f_1 = \frac{1}{t_1} = \frac{c + v \cdot \cos a}{L}$$

Fréquence f2 :

$$f_2 = \frac{1}{t_2} = \frac{c - v \cdot \cos a}{L}$$

D'où :

$$f_1 - f_2 = \Delta f = \frac{2v \cos a}{L}$$

Donc :

$$v = \Delta f \cdot \frac{L}{2 \cos a}$$

Le débit recherché est alors calculé en multipliant cette vitesse par la section mouillée à la station de mesure.

La formule permettant le calcul est la suivante :

$$Q = v_m \cdot S = S \cdot v_h \cdot S$$

Avec :

v_m : vitesse moyenne du courant dans la section de mesure (déterminée par exemple à l'aide d'un moulinet).

v_h : vitesse moyenne au niveau de l'émetteur électro-acoustique.

S : surface mouillée à la section de mesure (fonction de la hauteur d'eau).

$$K : K = \frac{v_m}{v_h}$$

Théoriquement, le facteur K dépend du débit et du niveau de l'eau. Mais, il a été observé expérimentalement que ce facteur ne varie que très peu, quelles que soient les conditions de débit et de remous. On admet qu'il est une constante à déterminer une fois pour toutes à chaque station. La détermination du débit se réduit donc à la mesure de la vitesse du courant au niveau de l'émetteur des ultrasons. La mesure de la surface de la section mouillée nécessite la réalisation d'un relevé topographique ainsi que l'installation d'un dispositif d'enregistrement des hauteurs d'eau.

Notons que cette technique ne constitue pas une méthode de mesure ponctuelle. Il s'agit d'un équipement installé de façon durable au niveau d'une station hydrométrique qui répond en général à une demande particulière en terme de donnée hydrométrique.

Avantage de la mesure par oscillateurs:

- mesure en continu de la vitesse,
- installation fixe ne nécessitant pas de déplacement de matériel,

Inconvénients :

- mesure sensible aux variations de température et à la quantité de matière en suspension,
- nécessité d'associer régulièrement une autre méthode de mesure pour déterminer et contrôler le facteur K

b) Le profileur de courant à effet Doppler (adcp):

Cette méthode a été initialement élaborée par les océanographes dans le but de déterminer les caractéristiques des courants marins. Il s'est avéré que la technique pouvait tout à fait être adaptée à la mesure des débits des cours d'eau.

La mesure de la vitesse du courant utilise le déplacement des particules en suspension dans le cours d'eau. Ces particules supposées sans mouvement propre se meuvent grâce au courant qui les véhicule et en adoptent donc la vitesse. Ce sont elles qui sont utilisées comme réflecteur par l'adcp.

Le profileur de courant est muni généralement de quatre transducteurs acoustiques se comportant chacun en émetteur et en récepteur. Il y a donc un double effet Doppler.

L'effet Doppler :

C'est un phénomène qui se produit lorsqu'une source de vibration (sons, ultrasons) ou de rayonnements électromagnétiques (lumière, ondes radio...) de fréquence donnée est en mouvement par rapport à un observateur et qui se traduit pour celui-ci par une modification de la fréquence perçue. Dans le cas d'une source mobile et d'un observateur fixe, si la source se rapproche, l'intervalle de temps entre la réception de deux signaux consécutifs est plus petit que la période T (constante), donc la fréquence est plus grande. Inversement, si la source s'éloigne, l'intervalle est plus grand donc la période observée est plus grande, en conséquence, la fréquence est plus petite.

Principe de la mesure :

L'adcp est constitué :

- d'un bloc immergeable en aluminium comprenant quatre transducteurs prévus pour une immersion à 1000m ; son support doit impérativement être en matériau non magnétique,
- d'un compas,
- d'un pendule pour les corrections d'inclinaison,
- d'un boîtier de surface qui permet, au travers d'une alimentation extérieure, d'alimenter l'ensemble immergé, de programmer et de collecter les mesures pour archivage sur un PC portable,
- d'un câble de liaison entre l'unité immergeable et le boîtier de surface,
- d'un capteur de température.

Généralement l'adcp est installé sur un bateau qui permet d'effectuer des traversées de la rivière. Des impulsions d'ultrasons sont émises en direction du fond de la rivière. Une partie de l'onde est réfléchiée et revient vers le transducteur, une autre est aléatoirement dispersée par diffraction et celle qui a traversé rencontre d'autres particules. Le phénomène continue alors sur toute la colonne d'eau. Lorsqu'elles s'éloignent de la source, les particules en suspension reçoivent le son avec une fréquence diminuée. Elles réfléchissent l'onde sonore et se comportent alors comme des émetteurs. L'effet Doppler est donc appliqué deux fois. Comme, dans ce cas, le récepteur s'éloigne des particules à la même vitesse, le décalage Doppler F_d obéit à l'équation suivante :

$$F_d = 2 \cdot F_s \cdot \left(\frac{v}{c} \right)$$

- F_s : fréquence nominale,
- c : célérité du son,
- v : vitesse des particules par rapport au transducteur.

En fait, les signaux émis par les transducteurs ont plusieurs fonctions :

- la mesure des vitesses,
- la mesure de la profondeur,
- la mesure de la trajectoire du bateau par rapport au fond.

Pour la mesure de la trajectoire, un compas gyroscopique fournit les références nécessaires, de plus, un pendule est utilisé pour effectuer les corrections de verticalité.

De fait, la mesure du débit est quasi-indépendante du trajet suivi. L'expérience a montré que pour différentes trajectoires l'écart de mesure ne dépasse jamais 10%.

Les données sont acquises lors du déplacement du bateau d'une rive à l'autre, la rapidité d'exécution autorise la réalisation de plusieurs traversées afin d'obtenir un échantillon conséquent de mesurage. L'ensemble des valeurs est intégré par un ordinateur embarqué qui détermine directement le débit recherché. Le processus d'acquisition et de calcul est donc intégralement automatisé.

Il convient au préalable de la mesure de fixer la température de l'eau qui peut avoir une influence sur la célérité du son. Les variations de température de l'eau sont auto-compensées par un capteur embarqué dans l'adcp.

L'adcp laisse une partie de la section inexplorée. En effet, les transducteurs doivent être immergés à une profondeur d'environ 25 cm, de plus, la mesure au fond est limitée par des problèmes d'interférence entre ondes émises et ondes réfléchies par le fond. Le logiciel peut reconstituer ces zones qui échappent à la mesure à condition que les paramètres du site aient été établis par le biais de mesures inter comparatives. Un fonctionnement correct de l'adcp exige une profondeur minimum de 90 cm et, si possible, une section d'allure rectangulaire d'une largeur supérieure à 20 m.

La gamme de vitesse mesurable par l'appareil va de 0.1 m.s^{-1} au maximum possible pour la sécurité de l'équipage et du matériel (plusieurs m.s^{-1}).

Enfin, l'adcp ne fonctionne pas correctement dans des eaux présentant une concentration de matières en suspension supérieure à $1,5 \text{ g.l}^{-1}$.

Avantages de la mesure à l'adcp :

- rapidité d'exécution,
- absence de pièces mobiles (frottements),
- mesures possibles des grandes profondeurs,
- possibilité d'installer le dispositif sur un véhicule flottant radiocommandé,
- mesures réalisables sur des sections inaccessibles au camion de jaugeage (absence de pont).

Inconvénients :

- usage limité aux profondeurs supérieures à 90 cm,
- coût élevé des équipements (bateau, matériel de traitement des données...),
- mauvais fonctionnement dans les eaux chargées.

LE COURANTOMETRE ELECTROMAGNETIQUE

Le courantomètre est équipé d'un capteur de mesure dans lequel une bobine d'induction crée un champ magnétique entre deux électrodes fixes. Cette technique utilise le principe de Faraday.

Selon ce principe, le déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique crée une tension aux bornes de ce conducteur. Cette tension est mesurée par le biais des électrodes situées dans le capteur de mesure et, est proportionnelle à la vitesse de déplacement du conducteur, à la puissance du champ magnétique et à la longueur du conducteur correspondant à la distance séparant les électrodes.

Si l'on considère que le champ magnétique B et que la longueur du conducteur L sont des grandeurs constantes, on peut, par la mesure de la tension U , déterminer la vitesse v du déplacement. Dans le cadre de l'hydrométrie, le conducteur utilisé est l'eau. Par conséquent, cette méthode permet de repérer la vitesse d'écoulement du fluide qui permettra le calcul du débit.

En utilisant la relation :

$$U = B \cdot L \cdot v$$

on peut déterminer la vitesse :

$$v = \frac{U}{B \cdot L}$$

En fait, l'appareil propose une lecture directe des vitesses.

Si l'on effectue cette mesure en différents points de verticales située au sein de la section de mesure, on peut calculer le débit par l'application de la méthode de calcul utilisée pour les jaugeages au moulinet au point par point. En effet, si les techniques employées pour la mesure de la vitesse sont différentes, la mise en œuvre du jaugeage est similaire (choix des verticales et nombre de points par verticale).

Avantages du courantomètre électromagnétique :

- pas de pièces mécaniques en mouvement,
- relation linéaire entre vitesse d'écoulement et tension,
- pas d'inertie mécanique,
- la mesure n'est pas gênée par la présence de végétation aquatique.

Inconvénients :

- risque de détachement par oxydation ou souillure des électrodes,
- montage sur saumon actuellement impossible,
- nécessité d'un étalonnage fréquent,

METHODES DE JAUGEAGES PAR DILUTION

Egalement appelées jaugeages chimiques, ces techniques sont appliquées lorsque l'écoulement ne se prête pas à une mesure par exploration du champ de vitesse, principalement dans les torrents ou dans les rivières à forte pente présentant un régime à fortes turbulences.

Principe :

On injecte dans le cours d'eau un traceur chimique et on cherche dans quelle proportion cette solution a été diluée par l'eau de la rivière. Cette dilution étant fonction du débit, on peut établir une relation à partir de laquelle il est possible de déterminer le débit du cours d'eau.

Deux méthodes sont appliquées :

- la méthode par intégration,
- la méthode par injection à débit constant.

a) Méthode par intégration :

Le principe de cette méthode est d'injecter ponctuellement un volume déterminé de traceur en solution concentrée. Un technicien placé en aval du point d'injection, à une distance suffisante pour que le mélange soit homogène, effectue une série de prélèvements pendant toute la durée du passage du nuage de traceur.

Pour que la méthode soit applicable, il faut pouvoir réunir certaines conditions :

- le débit doit rester à peu près constant durant la mesure,
- la totalité du traceur doit passer par la section de prélèvement,
- le mélange doit être homogène, la quantité de traceur doit être la même en tout point de la section de prélèvement.

Calcul de débit :

Soient :

- A, le point de prélèvement,
- dS, une surface élémentaire de la section S au point A dans laquelle passe un débit dQ,
- T_A , le temps de passage du nuage de traceur dans la section dS,
- c_2 , la concentration à l'instant t dans la section dS,
- m, la masse de traceur qui traverse l'élément dS pendant le temps T_A .

On a :

$$m = \int_0^{T_A} dQ \cdot c_2 \cdot dt = dQ \cdot \int_0^{T_A} c_2 \cdot dt \quad (1)$$

Si T est la limite supérieure des temps de passage au divers points de la section S, la masse totale M de traceur passant dans cette section pendant le temps T est :

$$\mathbf{M} = \int \int_S^T dQ.c_2.dt \quad (2)$$

En admettant que $\int_0^T c_2.dt$ est indépendant de la position de l'élément dS dans la section, on peut écrire :

$$\mathbf{M} = \int_0^T c_2.dt. \int_S dQ = \mathbf{Q} \cdot \int_0^T c_2.dt$$

Avec V, le volume de solution injecté et C_1 la concentration de cette solution, la masse de traceur injectée est $V.C_1$. Comme il y a conservation de la matière, on a :

$$\mathbf{M} = \mathbf{V}.C_1 = \mathbf{Q} \cdot \int_0^T c_2.dt$$

Ou encore :

$$\mathbf{Q} = \frac{V.C_1}{\int_0^T c_2.dt} \quad (3)$$

Avec C_2 , la concentration moyenne d'un échantillon global obtenu en prélevant dans la section dS le débit dQ pendant le temps T_A , l'équation (3) peut s'écrire :

$$\mathbf{Q} = \frac{V.C_1}{C_2.T_A}$$

C'est cette relation qui est à la base de la méthode et qui sera utilisée pour déterminer le débit.

b) Méthode de l'injection à débit constant :

On injecte cette fois la solution de traceur de concentration C_1 pendant un temps déterminé à débit constant, de telle sorte que la concentration C_2 du traceur à la section de prélèvement reste constante pendant un certain temps.

En supposant que les conditions nécessaires à l'application de la méthode, qui sont les mêmes que pour la méthode par intégration, soient réunies, on peut écrire :

$$\mathbf{q}.C_1 = (\mathbf{Q}+\mathbf{q}).C_2$$

avec q = débit d'injection

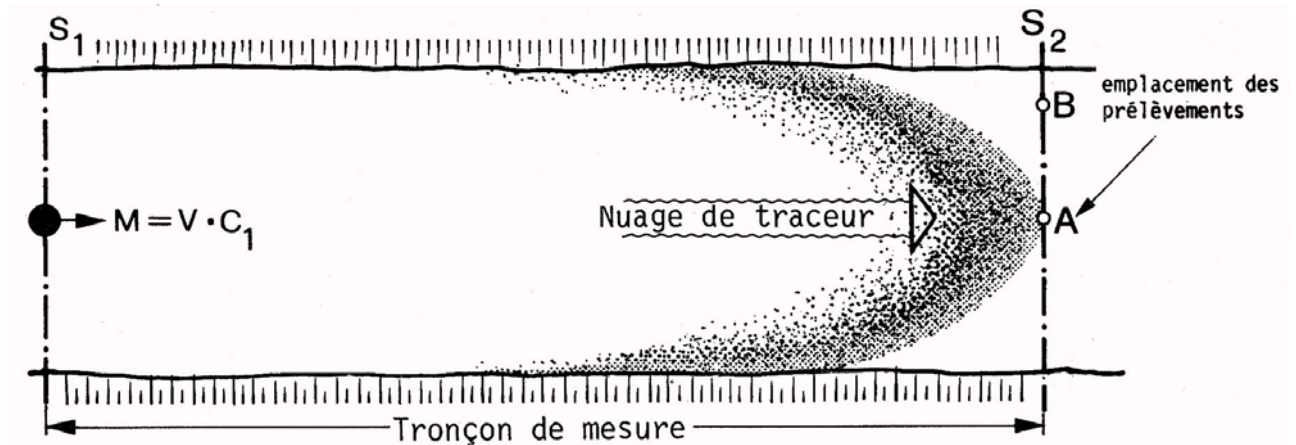
On considère que q est négligeable devant Q, d'où :

$$\mathbf{q}.C_1 = \mathbf{Q}.C_2$$

donc :

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

Schéma du passage du traceur :



Biblio 2

Produits utilisés :

Autrefois, le traceur employé n'était rien d'autre que du sel de cuisine (chlorure de potassium). L'inconvénient de ce produit réside dans le fait qu'il en fallait de grandes quantités de l'ordre de 10 kg par m³. A partir des années 60, on utilisa plutôt le bichromate de sodium qui présente l'avantage de nécessiter des quantités moins importantes, de l'ordre de 1 kg par m³. Cependant, le chrome hexavalent présentant une certaine toxicité, son usage est généralement abandonné.

De nos jours, le traceur utilisé est l'amidorhodamine. Il présente l'avantage de pouvoir être utilisé en faibles quantités (10g.m³) et de ne pas nuire au milieu naturel. Son inconvénient majeur est sa faible solubilité de l'ordre de 3 g.l⁻¹ dans l'eau froide, si on dépasse cette concentration, il convient d'effectuer un brassage de la solution de traceur pendant toute la durée de l'injection.

Calcul de la longueur du tronçon de mesure :

Il est important de déterminer cette grandeur, car elle situe l'emplacement où seront effectués les prélèvements.

On peut, préalablement, effectuer un essai de coloration afin de visualiser les conditions de mélange et de déterminer la vitesse du courant et le moment auquel les prélèvements doivent être réalisés. Ceci permet également de faire une estimation grossière du débit. Les colorants utilisés sont généralement la fluorescéine, la fuchsine ou le bleu de méthylène.

Il existe différentes formules permettant de calculer approximativement la longueur du tronçon de mesure :

1) La formule de Hull :

$$L = a \cdot Q^{\frac{1}{3}}$$

Avec :

L : longueur du tronçon de mesure,

Q : débit du cours d'eau,

a : coefficient

a = 50 lorsque l'injection se fait au milieu du cours d'eau

a = 200 si elle est faite près des rives

2) Formule de Rimar :

$$L = 0,13 \cdot k \cdot \frac{b^2}{d}$$

b : largeur du cours d'eau,

d : profondeur du cours d'eau,

k : coefficient $k = \frac{C \cdot (0,7 \cdot C + 6)}{g}$ avec $15 < C < 50$ (coefficient de Chézy),

g : accélération de la pesanteur.

3) Formule de Pérez :

$$L = 9,5 \cdot n \cdot d$$

n : coefficient $n = 0,32 \cdot k \cdot R^{\frac{1}{6}}$,

k : coefficient de Strickler,

R : rayon hydraulique,

d : profondeur du cours d'eau.

Les méthodes chimiques imposent au jaugeur un certain nombre de contraintes qui rendent la mesure longue à mettre en œuvre :

- détermination de la concentration initiale si le traceur est présent dans le cours d'eau à l'état naturel,
- mise en place d'un système d'injection,
- préparation de la solution de traceur,
- estimation préalable du débit,
- mise en place d'un dispositif de prélèvement,
- analyse des échantillons.

Avantage des méthodes par dilution :

- mesure possible dans les cours d'eau où les méthodes physiques ne peuvent être appliquées.

Inconvénients :

- lourdeur de la mise en œuvre,
- durée d'exploitation de la mesure,
- les conditions d'écoulement doivent permettre l'homogénéité du mélange.

PRECISION DES MESURES

C'est une question qui reste au cœur du débat qui anime les acteurs de l'hydrométrie. Nous avons vu, au début de ce rapport, que le défi des jaugeurs est de mesurer une grandeur qui peut être ponctuellement variable. Le milieu naturel ne présente pas les conditions de mesures qui peuvent exister en laboratoire ou dans le cadre d'un écoulement artificiel.

La charte de qualité de l'hydrométrie stipule que, pour les méthodes par exploration du champ de vitesses, les formules de calcul proposées jusqu'alors n'offrent pas la pertinence requise conduisant à des résultats exploitables dans le domaine de l'hydrologie. Seules la multiplication de mesures comparatives et une bonne connaissance du milieu peuvent conduire à cerner l'ordre de grandeur des incertitudes sur les jaugeages.

La charte précise que le respect des procédures, l'étalonnage et l'entretien régulier des matériels ainsi que la formation des personnels garantissent un niveau global d'incertitudes dans l'ordre de grandeur de 6 %.

Pour les mesures par dilution, l'application mathématique est réalisable. Il a été déterminé que la méthode par intégration et la méthode à débit constant conduisent à des incertitudes du même ordre. Suite à une application numérique menée sur une centaine de jaugeages par dilution, on a pu avancer que :

- 80 % des jaugeages sont réalisés avec une incertitude inférieure ou égale 6 %
- 2 % des jaugeages sont réalisés avec une incertitude supérieure à 20 %

L'hydrométrie est une discipline dont les matériels évoluent aujourd'hui rapidement et qui présente encore sous de nombreux aspects une image artisanale. Il est encore difficile de conclure sur le sujet de la précision de la mesure hydrométrique. On peut dire actuellement qu'une mesure effectuée dans le respect des protocoles définis dans la charte offre une précision de l'ordre de 5 à 7 %.

Parmi les causes d'imprécisions possibles nous pouvons citer :

- les incertitudes de lecture,
- le choix d'un matériel inadapté,
- un matériel mal étalonné ou en mauvais état,
- les matériaux véhiculés par le cours d'eau qui peuvent gêner la mesure,
- les incertitudes liées à la difficulté de visualiser le fond de la rivière et donc de savoir si le champ d'exploration est complet,
- les remous qui rendent difficile un repérage précis du niveau de la surface de l'eau,
- les incertitudes de mesures de la surface de la section mouillée,
- l'incertitude sur le parallélisme des lignes de courant,
- la difficulté d'évaluer les coefficients de forces de frottement exercées sur les rives et sur le fond,
- les zones d'eau morte et de retour,
- etc

Il faut noter que dans les cas les plus défavorables, le cumul des sources d'incertitudes peut conduire à des imprécisions de l'ordre de 50 %. Ce sont heureusement des cas isolés qui apparaissent très nettement lors de l'étude de la répartition des jaugeages par rapport à la courbe de tarage.

Il convient alors de réexaminer les paramètres de la mesure afin de déterminer les raisons qui ont pu conduire à cette dérive.

Nous verrons plus loin que le jaugeage n'est qu'une étape dans la chaîne d'acquisition et de traitement des données. Chacune de ces étapes est soumise à une critique systématique qui permet de revenir sur les valeurs douteuses et, éventuellement, de les invalider. Il est très important que l'hydrométriste et l'hydrologue collaborent étroitement afin de permettre un suivi cohérent de l'ensemble des opérations. Il est impératif que l'hydrologue possède une bonne connaissance du terrain et une aptitude à réaliser les mesures dans le but de pouvoir aiguïser son sens critique à l'égard des données issues de la mesure et de l'enregistrement.

En résumé, il convient de travailler avec un matériel correctement étalonné et parfaitement entretenu, de respecter le protocole de mesure décrit par la charte de qualité de l'hydrométrie et d'entretenir le dialogue entre le technicien et le destinataire des données.

DOMAINES D'APPLICATION

Les différentes techniques que nous venons de décrire présentent chacune leur lot d'avantages et d'inconvénients qui les destinent à des domaines d'application relativement spécifiques.

Il convient, en premier lieu d'effectuer un choix judicieux afin de définir la section de mesure. Il faut ensuite évaluer correctement les conditions d'écoulement au sein de cette section. Enfin, au regard de ces renseignements, il s'agit de choisir la méthode de mesure la mieux adaptée.

La nature subjective de certains de ces choix implique que l'opérateur soit correctement formé à la réalisation de jaugeages.

Nous allons définir pour chacune des méthodes de jaugeages ponctuels qui ont été précédemment présentées les configurations de cours d'eau où elles peuvent être utilisées.

ÉCOULEMENTS TORRENTIELS				
Configuration de la section	moulinet	Courantomètre électromagnétique	ADCP	Jaugeages Chimiques
Faibles hauteurs				X
Hauteurs importantes	X			X
ÉCOULEMENTS FLUVIAUX				
Vitesses < 0,10 m.s ⁻¹	X Point par point			(1)
He < 15 cm	X Point par point			(1)
15 cm < He < 90 cm	X	X		
He > 90 cm	X		X	
Végétation Aquatique		X		
Largeur > 20 m	X	X	X	
Largeur < 20 m	X	X		(1)
Eaux chargées en en matières en suspension	X	X		

He = hauteur d'eau

(1) : sous réserve d'une bonne homogénéité du mélange

UTILISATION DES MESURES HYDROMETRIQUES

Les mesures réalisées ont, en général, un caractère ponctuel. Elles ne permettent de définir le débit d'écoulement qu'à l'instant du jaugeage. Cependant, l'hydrologue a besoin, dans le cadre de son étude sur la connaissance des cours d'eau, de données qui présentent un caractère continu. Dans ce but, et afin de donner une signification hydrologique aux campagnes de mesures, il importe de mettre les débits mesurés en relation avec d'autres données relatives à la station de jaugeage.

Les sites où sont effectuées les mesures de débits, sont généralement équipés d'un dispositif qui permet l'enregistrement graphique ou numérique des hauteurs d'eau par le biais de systèmes à flotteurs ou de capteurs de pression.

Nous avons vu précédemment que la multiplication des jaugeages permet d'évaluer la qualité des mesures, elle permet également d'établir une relation entre la hauteur d'eau et le débit pour une section définie. Cette relation est matérialisée par le tracé d'une courbe que l'on nomme courbe de tarage.

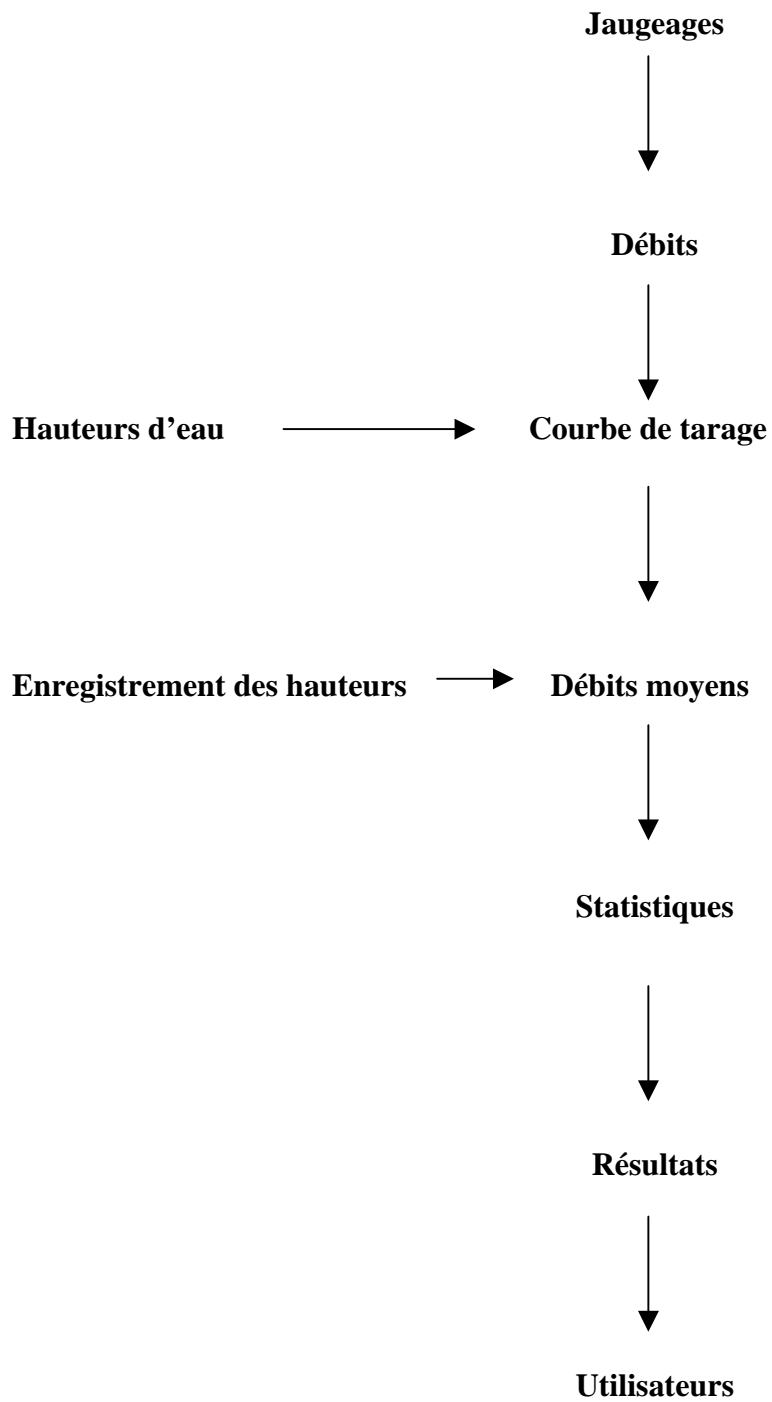
L'ensemble des données mesurées et enregistrées permet, grâce à la courbe de tarage, de connaître de manière continue les variations de l'écoulement des cours d'eau et de calculer des débits moyens journaliers et mensuels. Ces valeurs ont un réel intérêt pour l'hydrologue qui peut alors mener des études statistiques dans le but d'élaborer les outils nécessaires à l'optimisation de la gestion des ressources en eau. Parmi ces outils, nous pouvons citer les catalogues de débits d'étiage, les catalogues de débits de crues, les atlas de zones inondables, les informations nécessaires à la législation sur l'eau ou encore l'élaboration des divers schémas d'aménagement. La connaissance des débits a également un rôle décisif en ce qui concerne le calcul des flux polluants et la détermination du gabarit d'ouvrages tels que les ponts et les barrages.

Les utilisateurs de données, sont principalement :

- les bureaux d'études,
- les administrations,
- les élus,
- etc...

A sa manière, la mesure de débit des cours d'eau participe de façon active à une meilleure connaissance du milieu naturel.

Représentation de la chaîne de traitement :



CONCLUSION

La rédaction de ce rapport a été pour moi l'occasion d'explorer une palette d'outils entrant dans le cadre du jaugeage des cours d'eau. La liste des méthodes décrites est loin d'être exhaustive, elle a pour but de présenter les techniques les plus fréquemment rencontrées en hydrométrie.

Nous avons pu constater que les mesures réalisées dans le milieu naturel ne sont pas toujours très aisément applicables. La nature a la particularité d'être imprévisible et oblige les techniciens à faire preuve d'une grande adaptabilité. Cependant, la mesure reste possible dans la majorité des cas du fait de la complémentarité des différentes méthodes existantes.

L'hydrométrie reste une discipline qui soulève de nombreuses questions au sujet de la précision des mesures. De ce fait, il est important, quand cela est possible, de multiplier les mesures afin de disposer d'un large échantillon de données exploitable dans le traitement statistique des débits.

Le métier de jaugeur est une activité privilégiée qui permet à celui qui la pratique de côtoyer un large éventail de disciplines scientifiques touchant à la mesure physique et de manipuler de nombreux appareils d'acquisition de données ainsi que les logiciels destinés au traitement des mesures et des enregistrements. Chaque mesure est un cas particulier, ainsi, la routine n'existe pas et le praticien peut quotidiennement mettre à l'épreuve ses capacités de jugement et sa technicité.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) **Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement**
Charte de qualité de l'hydrométrie
1998

- 2) **Service Hydrologique National Suisse**
Guide pour les jaugeages de cours d'eau
1983

- 3) **M. Aldegheri**
Mesure des débits à partir des vitesses
1979

- 4) **Direction Régionale de l'Environnement Rhône-Alpes**
Guide de l'utilisateur du logiciel BAREME
1999

- 5) **H.André**
Hydrométrie pratique des cours d'eau
1964